

卒業論文

「砂の透水係数に及ぼす
微生物活動の影響」

平成5年3月

東京大学農学部農業工学科
農業地水学研究室

関 勝寿

目 次

1. 序論および研究目的.....	(1)
2. 実験方法.....	(3)
2-1. 概要.....	(3)
2-2. 実験場所.....	(3)
2-3. 実験に用いた試料.....	(3)
2-4. 実験装置.....	(4)
2-5. 流した水の種類について.....	(8)
2-6. 測定項目と測定方法.....	(9)
2-7. 砂層の深さ別飽和透水係数.....	(10)
3. 実験結果.....	(11)
3-1. 曜気による溶存酸素量の変化.....	(11)
3-2. 各実験ごとの結果.....	(11)
4. 考察.....	(53)
4-1. 殺菌水と栄養水の違い.....	(53)
4-2. 砂の層別飽和透水係数の変化の違い.....	(53)
4-3. フィルターの飽和透水係数.....	(54)
4-4. 酸素の消費.....	(55)
5. まとめ及び今後の課題.....	(77)
6. 感想.....	(79)
7. 謝辞.....	(80)
8. 参考文献.....	(81)
9. 付録(データ)	(82)

1. 序論および研究目的

近年、水質の悪化が問題になっている。産業が活発になれば工場からの廃水は増え、生活が豊かになれば生活排水が増えるため、汚水処理の技術を向上させることが、重要になってくる。汚水処理には色々な方法があるが、その中に、土壤の自浄作用を活用する、土壤処理法とよばれている方法がある。広大な農地や山林等に取り囲まれた農村地域の生活排水処理技術としては、現在の接触曝気方式や長時間曝気方式のような曝気プロワーを利用する電力消費型の汚水処理方式から、できるだけ自然のリサイクルシステム、すなわち土壤の汚水浄化機能を活用した省資源・省エネルギー型の汚水処理方式へ転換すべきである、という意見もあり、土壤処理法は注目されている。しかし、この方法は決して新しく考え出されたものではなく、生活排水を農村に換言して処理・利用するといった方法は、昔は日本でも、欧米諸国においてもごく自然に行われていた¹⁾。

土壤処理法の問題点の1つに、水を長期にわたって流すと、土壤間隙の間に目づまりが起きて、水が流れにくくなる、すなわち土壤の飽和透水係数が下がるため、長期間にわたる使用が困難であるというものがある。この目づまり現象は、水中の懸濁粒子によっても起きるが、微生物の活動によるところが大きい。微生物の活動によって土壤間隙が閉塞され、飽和透水係数が下がる現象を、「微生物によるクロッギング（目づまり）現象」と言う。

Frankenberger²⁾は、土に水を流した時にクロッギングが起こり、しかも、グルコースを加えてエネルギーを供給した時、あるいは硝酸カリウムを加えて栄養分を供給した時に、クロッギングがより大きく起こることを示している。

また、Harvey³⁾は、下水処理水によって汚染された帯水層のバクテリアの濃度を計測した上で、バクテリアの多いところでは、土の透水性が悪くなることを示している。

クロッギング現象をモデル化しようとする試みもされている。例えば、Molz⁴⁾は微生物がコロニーを形作っているとして、ダルシー式、溶存酸素の移動式、微生物の消長の式から、クロッギングによる飽和透水係数の減少を計算する方法を示している。

また、Vandevivere⁵⁾は、Arthrobacterという好気的な菌がクロッギングを起こすことを示し、さらに、走査電子顕微鏡によって試料の中を観察することによって、微生物が土の中でバイオフィルムを形成するという、従来の考えを否定している。また、彼はクロッギング現象が起きる事例について、次のようにまとめている。①～⑤は有害な例、⑥～⑧は、有益な例である。

- ①浄化槽、下水処理の効率を悪くする。
- ②涵養水源地や井戸（注水井戸）への地下水涵養を少なくする。
- ③井戸の水を出にくくする。
- ④湿潤土での排水性を低下させる。

- ⑤帶水層を生物的な処理によって浄化する方法があるが、栄養井戸周辺で困難になる。
 - ⑥人口湖の地下浸透を少なくする。
 - ⑦石油を採取する時に、利用する方法がある。
 - ⑧水田の表土の透水性が自然に低下することによって、過剰な地下浸透を防いでいる。また、田坂⁶⁾は、林地と畑と水田を比較して、林地が最も透水性が高く、しかもクロッギングが起こりにくいことを示している。
- このように、微生物の活動が、土の透水性を下げるることは明らかであるが、このメカニズムは、ほとんど解明されていない。
- 本研究は、クロッギング現象が、どのような位置で、どのような時間的経緯を経て発生するかを、実験によって確認することを目的としている。試料には、構造が比較的安定しているものとして標準砂を用い、溶存酸素量、グルコース添加、殺菌剤添加などの影響を調べるための浸透実験を行い、これを微生物活動と関連づけて考察した。

2. 実験方法

2-1 概要

標準砂を充填したコラムに水を流した時の、砂の各層の飽和透水係数の変化を計測した。本実験の目的は、微生物の活動が砂の飽和透水係数に及ぼす影響を調べることである。微生物の活動は、栄養の量と酸素の量によって、大きく影響を受けるため、栄養の量と酸素の量によって、微生物の活動量を変えて実験を行った。栄養の面からは、砂のコラムに栄養水と殺菌水をそれぞれ流して比較した。さらに、酸素が豊富にあれば微生物の活動が活発になり、酸素が少なければ微生物の活動が乏しくなるはずであるから、酸素の豊富な水と、酸素の乏しい水とでは、現象に違いができる、その違いを比較検討することによって、微生物の活動と飽和透水係数との関係を考察できると考えて、コラムに曝気水（酸素を豊富に含む水）を流した場合と、脱気水（酸素をあまり含まない水）を流した場合とで比較した。

2-2 実験場所

東京大学農学部4号館内にある恒温実験室で、すべての実験を行った。実験を行った期間は、1992年11月から1993年2月である。室温は、20℃前後に保たれている。

2-3 実験に用いた試料

試料には、標準砂を使用した。試料中のゴミを除去するために、0.3 mmのふるいでこした。さらに、粘土分を除去するために、ボウルに入れて、水道水で洗浄した。そうすると、最初は標準砂中に含まれる粘土分によって水が濁るので、濁りがなくなるまで洗浄を繰り返した。その後、蒸留水で5回洗浄した。洗浄の終わった試料を、1週間風乾した。

試料の洗浄と風乾が終ったのは、1992年9月25日である。それから、実験が終了するまで、恒温実験室内にプラスティックの容器に入れて、保存した。

試料の基本量について測定した結果をまとめると、表1のようになる。測定は、「土壤物理実験」⁷⁾によった。

乾燥密度 1.64 g/cm³ の時の間隙率を計算すると、38.0%である。

表1－試料の基本量

真比重	2. 650
含水比	0. 112%
最高充填乾燥密度	1. 64 g/cm ³
飽和透水係数	※1. 53 × 10 ⁻² cm/s

※乾燥密度1. 64 g/cm³ の時の値

2-4 実験装置

装置図を図1に、装置の写真を、写真1（装置全体）と写真2（コラムとマノメーター）に、それぞれ示す。二つの装置を用意して、同時に実験できるようにした。それぞれの装置を、装置1、装置2と名づける。

アクリルのリング（直径4. 95 cm、厚さ2 cm）を5つ重ねたコラム内に試料の標準砂を詰めて、コラム内に連続的に水を流して、試料の圧力変化を計測した。水は、コラムの中を上から下に向かって流れる。コラムの上にかかる水圧を一定に保つため、マリオット管からコラムに水を供給した。マリオット管は、内径10. 6 cm、容量約3. 5リットルである。後で述べる様に、実験中に、試料中の動水勾配を変える必要がある。そのためには、コラムの上端にかかる圧力を変えるか、下端にかかる圧力を変えるかのどちらかであるが、この実験では、コラムの上端にかかる圧力は一定にして、つまりマリオット管の高さは変えずに、コラムの下端にかかる圧力を変えることによって、試料中の動水勾配を変えている。排水ヘッドを調節できるようにするために、水が空気中に排出される部分に注射針をつけて、注射針を上下に移動してから固定できるようにした。

コラムの上下には、砂の流出を防ぐため、フィルターをつけた。ガラスフィルターを使用したが、ガラスフィルターには、穴の細かさによって、色々な種類がある。この実験で使うフィルターを決めるために、色々な種類のガラスフィルターの透水係数を測定した。その結果、G 2という種類のフィルターが、試料の飽和透水係数に近い値が得られたので、この実験では、G 2を使用することに決めた。フィルターの直径は5 cm、厚さ4 mmである。フィルターの透水係数は、変水頭試験によって測定した。G 2の透水係数は、フィルターを脱気してから測定した時には、 $8. 04 \times 10^{-3}$ cm/sであり、フィルターを脱気せずに測定したときには、 $1. 02 \times 10^{-2}$ cm/sであった。

コラム内に砂をつめる時には、下から水を供給して、コラム内を湛水しながら詰めた。乾燥密度が1. 64 g/cm³ になるように、リングの厚さの2 cmごとに砂の重量を測定して、砂を詰めた。乾燥密度が1. 64 g/cm³ になっているか確かめるために、実

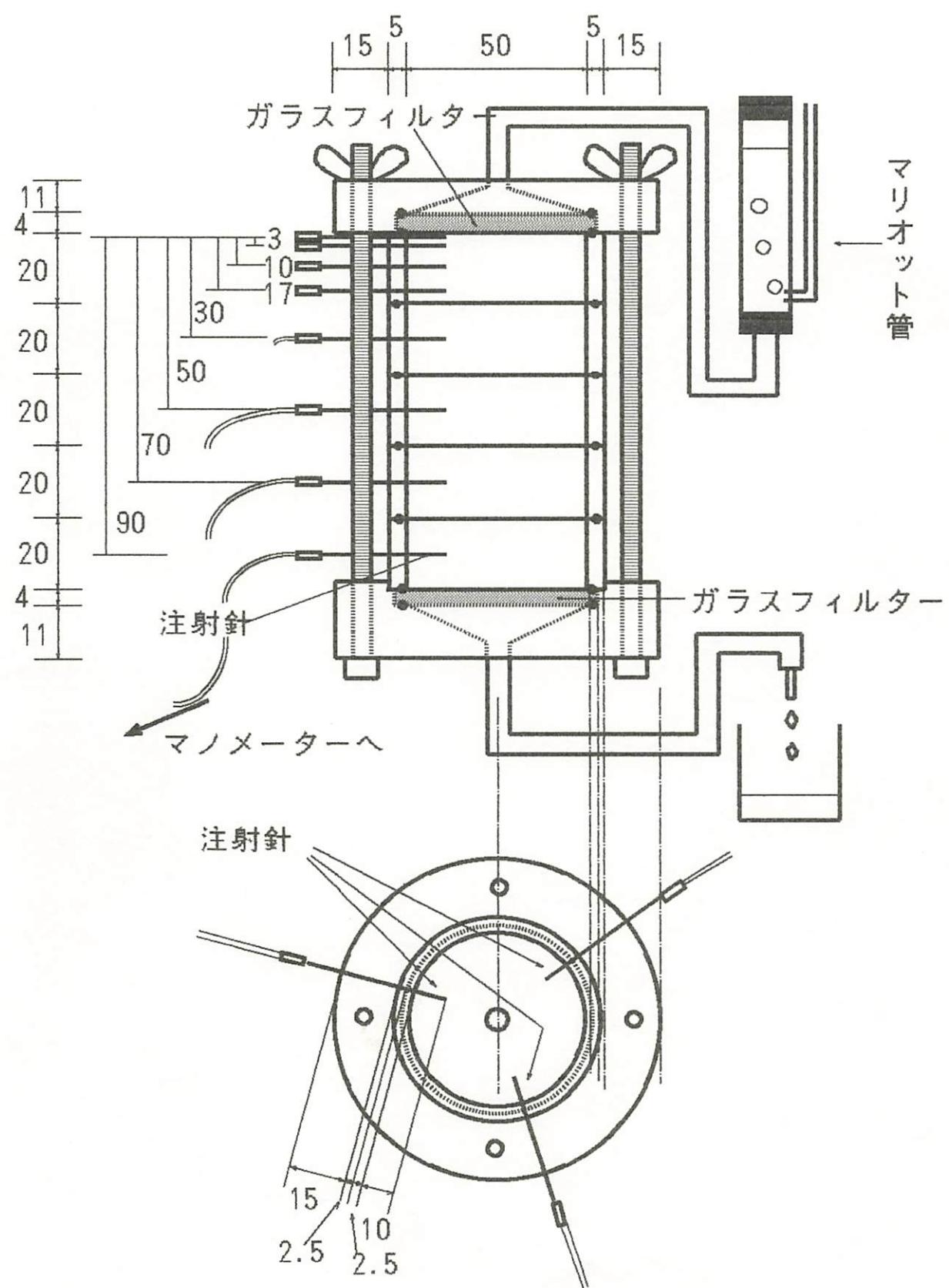


図1 装置図

験終了後に、厚さ 2 cm ごとの砂の乾燥密度を測定した。その結果を、表 2 に示す。リングとリングの間から、水が漏れないようにするために、O リングと言われる、ゴム製の輪を、リングとリングの間に入れた。

表 2 - 試料の乾燥密度 (単位: g / cm³)

深さ (cm)	実験 1	実験 2	実験 3	実験 4	実験 5	実験 6	実験 7
0 ~ 2	1.61	1.60	1.55	1.61	1.60	1.61	1.58
2 ~ 4	1.63	1.62	1.65	1.67	1.67	1.62	1.65
4 ~ 6	1.67	1.63	1.59	1.65	1.64	1.64	1.63
6 ~ 8	1.67	1.65	1.70	1.66	1.63	1.67	1.66
8 ~ 10	1.58	1.63	1.59	1.58	1.61	1.61	1.61
全体の平均	1.63	1.62	1.62	1.63	1.63	1.63	1.63

コラム中の水のヘッドを測定するために、外径 1.5 mm の注射針を砂の各深さに挿入し、ビニルチューブでマノメーターに接続した。マノメーターは、内径 2.6 mm の医療用アンギオチューブ（ビニル製）を使用した。アンギオチューブの毛管上昇は無視し得るほど小さかった。注射針内への砂の侵入を防ぐため、先端に脱脂綿を入れて、先端をつぶした。図にもある通り、針の先端位置は、試料の最上端（つまり、上のフィルターの直下）から下へ、0 mm、3 mm、10 mm、17 mm、30 mm、50 mm、70 mm、90 mm の位置とした。実験 5 以降は、深さ 100 mm、つまり試料の最下端にも針をつけた。針の数は、0 mm と 100 mm の深さには、それぞれ 1 つずつだが、それ以外には、3 つずつつけた。上から見て、隣の針との角度が 120° となるように、すなわちリングの円周に均等に針をつけた。針は、試料の中に、1 cm 入っている。一番上と一番下の、フィルターに接触する針（深さ 0 mm と 100 mm）は、アクリル壁面に斜めの挿入口を作ることによって、斜めに砂中にささるようにして、その先端が所定の深さになるようにセットした。

2-5 流した水の種類について

実験ごとに、流す水の種類を変えた。殺菌水として、0.01% アジ化ナトリウム水溶液を使用した。栄養水として、0.1% グルコース水溶液を使用した。さらに、溶存酸素量を変えるため、殺菌水と栄養水のそれぞれに、曝気水と、脱気水と、静置水の 3 種類を用意した。曝気水とは、水槽用の酸素ポンプで、3 時間曝気した後、水温を室温と等しくするために、恒温室に一晩静置したものである。また、脱気水とは、真空デシケーターの

中で、2時間以上脱気してから、恒温室に一晩静置したものである。最後の静置水とは、曝気も脱気もせずに、一晩静置したものである。

実験は、全部で7回行った。それぞれの実験で、流す水の種類を変えた。実験番号と、流した水の関係を、表3に示す。

表3－実験による流した水の種類の違い

実験番号	流した水
1	殺菌・脱気水（第1回）
2	栄養・曝気水（第1回）
3	栄養・静置水
4	殺菌・脱気水（第2回）
5	殺菌・曝気水
6	栄養・脱気水
7	栄養・曝気水（第2回）

2-6 測定項目と測定方法

(1) 流量測定

給水流量と排水流量を測定した。給水流量は、給水用のマリオット管に、スケールを取り付けて、その目盛りを読んだ。水位が1mm下がると、8.8mlの水が供給されることになるので、10mlのオーダーまでしか、計ることができない。したがって、測定時間を長くとらなければならないため、一晩の流量を計った。給水流量と排水流量は、基本的に等しい、すなわち定常状態にあるとみなして、給水流量よりも正確に測定可能な排水流量を流量のデータとした。水の質量は、0.001gまで読み取れる電子天秤を使って計った。流量測定時間は、流速によって変えたが、10分以上計測する時は、水の蒸発を防ぐため、流量を測定するためのビーカーの上をフィルムで覆った。コラムの断面積19.24cm²から、フラックスを計算した。

(2) 圧力測定

砂の中の間隙水のヘッドは、マノメーターの水位にあらわれる。マノメーターの水位は、カセットメーターで読み取った。0.01cmの位まで読むことができるカセットメーターを使用した。マノメーターの水位と針の高さとの差が、間隙水の圧力水頭になる。マノメーターは、深さ0mmと100mmの位置を除いては、3つつけてあるので、3つのマノメーターの読みの平均値から、間隙水の圧力水頭を計算した。

また、供給される水の圧力を決めるために、給水用マリオット管の、空気が侵入するガ

ラス管の上端の高さを測定した。この高さが、供給される水の圧力を決めているので、給水ヘッドとよぶことにする。装置にかくれて、カセットメーターで直接読み取れないため、基準点の高さを計り、基準点との高さの差が一定であるとして計算している。排水先端に取り付けた針の高さをカセットメーターで読み取って、排水ヘッドを測定した。さらに、試料最上端の高さをカセットメーターで測定して、この値を基準に、針の高さを計算した。

(3) 給排水のヘッド差について

ダルシー則によれば、給排水のヘッド差と流量は比例する。したがって、給排水のヘッド差を大きくすると、流量が大きくなり、水を用意したり、マリオット管に給水したりするのが、困難である。例えば、ヘッド差を10cmにすると、1日に20リットルの水を流さなければならない。しかし、給排水のヘッド差を小さくすると、今度はマノメーターの読みに、差があまり出なくなり、測定の精度が落ちる。この問題を解決するために、給排水のヘッド差を約3cmにして水を流し、測定をするときに、ヘッド差を約12cmに変えた。ヘッドを変える方法は、実験装置のところで書いた通り、給水ヘッドは変えずに、つまりマリオット管の高さは変えずに、排水先端を上下させた。測定するときに、ヘッドを変えて、砂の中のヘッドが変化するため、マノメーターの読みが安定するまで、測定するのを待たなければならない。その時間は、約90分である。

(4) 溶存酸素量

曝気水と静置水と脱気水で、酸素の量の違いがどれだけあるかを知るために、水中の溶存酸素量(DO)を、溶存酸素計(DOメーター)を使用して測定した。DOは給水時と排水時の二回測定して、その変化を見ることにより、酸素の消費量を調べた。給水時のDOは、マリオット管内に、水を入れるときに、マリオット管の中で測定した。排水時のDOは、排水流量を計測する時の、ビーカー内の水を使って測定した。

(5) 気温

気温は、微生物の活動にとって重要な要素であるので、気温を測定した。測定に使用した温度計は、0.1℃の位まで読み取れるものである。

2-7 砂層の深さ別飽和透水係数

砂層の深さ別飽和透水係数は、ダルシー式

$$q = -K_s (\Delta H / \Delta z)$$

q : フラックス

$$K_s = - \frac{q}{(\Delta H / \Delta z)}$$

K_s : 砂の飽和透水係数

△H : ヘッド差 (全水頭差)

△z : 高さの差

により計算した。

3. 実験結果

3-1 曝気による溶存酸素量の変化

曝気水を作る時の、曝気する時間を決めるために、曝気する時間による溶存酸素量の変化を調べた。20リットルの蒸留水をタンクの中に入れて、恒温室内に一晩おいて水温を20℃にした水に、曝気水を作る時に用いた水槽用の酸素ポンプで、タンク内の蒸留水を曝気した時の、曝気時間ごとの溶存酸素量を、DOメーターで測定した。その結果を、図2に示す。このグラフより、2時間曝気した時に、溶存酸素量は飽和に達したとみなすことができる。

また、3時間曝気した水を放置した時の、放置時間による溶存酸素量の変化も調べた。その結果を、図3に示す。このグラフより、3日後まで、溶存酸素量は変化しなかったことが分かる。

したがって、この論文中の実験では、3時間曝気した後、一晩静置した水を曝気水として使用することにした。

3-2 各実験ごとの結果

3-2-1 実験1 (殺菌・脱気水第1回)

実験開始：1992年12月2日

使用した装置：装置1

$$20^{\circ}\text{C} \text{ 酸素の溶解度 } 44\text{mg/l}$$
$$0.2\text{atm} \text{ では, } 44 \times 0.2 = 8.8\text{mg/l}$$

殺菌水を流している実験4、5では、殺菌した砂を用いたが、実験1では砂を殺菌しなかった。

図4に、砂の各層の飽和透水係数、およびコラムの上下につけたフィルターの透水係数の変化を示した。図中の青い線は、「砂全体」と書いてあるが、砂全体の飽和透水係数を計算する時は、深さ3mmにおいて3カ所で測定した圧力水頭の平均値と、深さ90mmにおいて3カ所で測定した圧力水頭の平均値とのヘッド差から計算した。

実験方法にも書いた通り、実験1から実験4までは、深さ100mmの位置、つまり砂の最下端には、マノメーターをつけなかった。

図5は、実験開始時と、終了時における、試料の中の圧力水頭と全水頭をグラフにしたもの、すなわち水頭分布図である。

図6は、フラックスの変化をグラフにしたものである。ヘッド差が、12cmと3cmに分かれているのは、実験方法に書いたように、通常は給排水のヘッド差を約3cmにし

て水を流し、測定時に、ヘッド差を約12cmに変えているからである。

また、室内の気温の変化を、図7に示す。

実験1の問題点と改善方法

(1) 水漏れについて

実験中、水がリングとリングの間からわずかに漏れていた。砂を詰めるときに、アクリルのリングとOリングの間に、砂が入り込んで、すきまができてしまったことがその原因と思われる。砂を詰めるときに、コラムをネジでとめる前は、リングとリングの間がしっかりとしまっていないため、その時に砂を詰めると、砂がリングとリングの間に入り込んでしまう。そこで、実験2以降は、砂が入ることにより水漏れが生じないように、砂の詰め方に工夫をした。その手順は、①コラムを組み立て、一番上にフランジをつけて、ネジでしめる。ネジでしめて、上下からコラムを押さえつけているため、アクリルのリングとOリングの間に、すきまがなくなる。②砂をつめる。③フランジをはずし、フィルターをつけて、コラムを完成させる。

このようにすると、砂を詰めているときに、リングとリングの間がしっかりとしまっているため、砂が入り込むことはなくなると思われる。このようにした結果、実験2以降では、水漏れは観察されなかった。

(2) 針の中への砂の吸い込みについて

図4中に、深さ0~3mmの層の飽和透水係数をのせなかった理由は、データとして不適切だからである。というのは、この層のデータ（数字のデータは、本論文の最後にまとめてのせてある）を見ると、飽和透水係数が、時間とともに大きくなっている。これは、マノメーターに接続した針の中に、砂が吸い込まれたためである。砂が吸い込まれると、ダルシーの式で、 ΔH が小さくなるため、 K_s が実際よりも大きく計算される。実際に、マノメーターの中に、大量の砂が吸い込まれていることが、観察された。したがって、このデータは無効であると考えて、図4にはのせなかった。

3-2-3 実験2 (栄養・曝気水第1回)

実験開始：1992年12月22日

使用した装置：装置1

図8に、砂の各層の飽和透水係数、およびフィルターの透水係数の変化を示す。また、図9に実験開始時と終了時の水頭分布図を、図10にフラックスの変化を示す。

図11は、給水時と排水時の溶存酸素量の変化をグラフにしたものである。測定を途中

から開始したため、データは途中からしかない。

また、室内の気温の変化を、図12に示す。

実験2の問題点と改善方法

測定開始後31時間目から44時間目までの間、三方コックの方向を間違えるという操作ミスのために、水の流れが止まった。以後の実験では、同じ失敗は繰り返さなかった。

3-2-4 実験3 (栄養・静置水)

実験開始：1992年12月23日

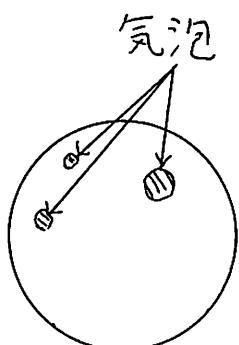
使用した装置：装置2

図13に、砂の各層の飽和透水係数、およびフィルターの透水係数の変化を示した。また、実験開始時と終了時の水頭分布図を図14に、フラックスの変化を図15に、給水時と排水時のDOの変化を図16に、室内の気温の変化を図17に、それぞれ示す。この実験も、DO測定を途中から開始した

実験3の問題点と改善方法

下のフィルターの底に、気泡が入っていることが観察された。その様子を、図18に示す。次の実験からは装置を慎重に組み立てたため、気泡は観察されなかった。

図18 フィルターの底の気泡



3-2-5 実験4 (殺菌・脱気水第2回)

実験開始：1993年1月5日

使用した装置：装置1

試料は、120°C、1.2 kgf/cm²で30分オートクレーブで殺菌した。図19に、砂の各層の飽和透水係数、およびフィルターの透水係数の変化を示した。また、実験開始時と終了時の水頭分布図を図20に、フラックスの変化を図21に、給水時と排水時のDOの変化を図22に、室内の気温の変化を図23に、それぞれ示す。

実験4の問題点と改善方法

深さ13mmの位置のマノメーターのうちの1つに、実験の途中から空気が入って、そのマノメーターだけ、正確なデータが取れなくなった。そのため、残り2つのマノメーターの平均値で計算している。原因は明らかでないが、おそらくリングに針をつけるときに、接着が不十分であったため、リングと針の間から空気が入ったものであろう。実験終了後、接着をしなおした。

3-2-6 実験5 (殺菌・曝気水)

実験開始：1993年1月8日

使用した装置：装置2

試料は、実験4と同じ条件でオートクレーブ殺菌した。実験5から、深さ100mm、すなわち砂の最下端に、マノメーターを1つつけたので、深さ90~100mmの飽和透水係数の実測値を出すことができる。図24に、砂の各層の飽和透水係数、およびフィルターの透水係数の変化を示した。グラフを見ると、3日目に、フィルターの飽和透水係数が減少し、砂の飽和透水係数の層ごとのばらつきが大きくなっている。ところが、4日目になると、2日目と同じ程度に戻っている。なぜ、3日目にこのような変化が生じたのかは不明である。また、実験開始時と終了時の水頭分布図を図25に、フランクスの変化を図26に、給水時と排水時のDOの変化を図27に、室内の気温の変化を図28に、それぞれ示す。

3-2-7 実験6 (栄養・脱気水)

実験開始：1993年2月2日

使用した装置：装置1

図29に、砂の各層の飽和透水係数、およびフィルターの透水係数の変化を示した。また、実験開始時と終了時の水頭分布図を図30に、フラックスの変化を図31に、給水時と排水時のDOの変化を図32に、室内の気温の変化を図33に、それぞれ示す。

3-2-8 実験7 (栄養・曝気水第2回)

実験開始：1993年1月29日

使用した装置：装置2

図34に、砂の各層の飽和透水係数、およびフィルターの透水係数の変化を示した。また、実験開始時と終了時の水頭分布図を図35に、フラックスの変化を図36に、給水時と排水時のDOの変化を図37に、室内の気温の変化を図38に、それぞれ示す。

3-2-9 試料の写真

測定終了後、コラムを解体した時に、リングの上から試料の写真を撮って、微生物の活動が、試料の色に変化をもたらしているかどうかを調べた。その写真を、写真3に示す。Aは殺菌土の代表の実験5（殺菌、曝気水）の写真であり、Bは栄養水の代表の実験6（栄養、脱気水）の写真である。写真中の1、2、3、4、5というのは、上から何番目のリングであるかを示し、例えば「1」は深さ0～2cmのリング、「2」は深さ2～4cmのリングである。また、「乾」は、試料の標準砂であり、「湿」は、試料の標準砂を水で飽和させたものである。この2つは、写真的撮り方による色や明るさの違いを見るために、比色用として写真の中にいっしょに入れたものである。殺菌水、栄養水とともに、目だった色の変化はなかった。

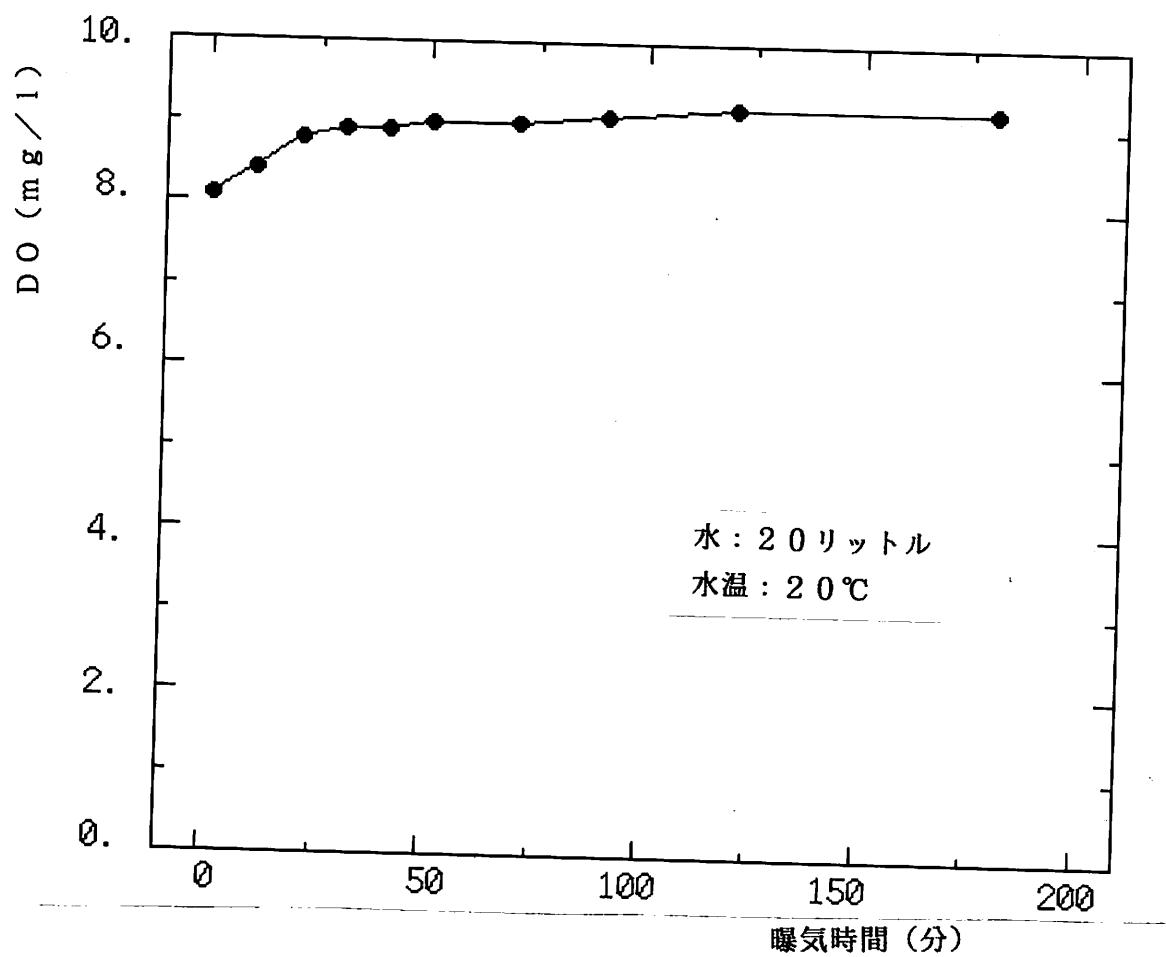


図2 曝気時間によるDOの変化

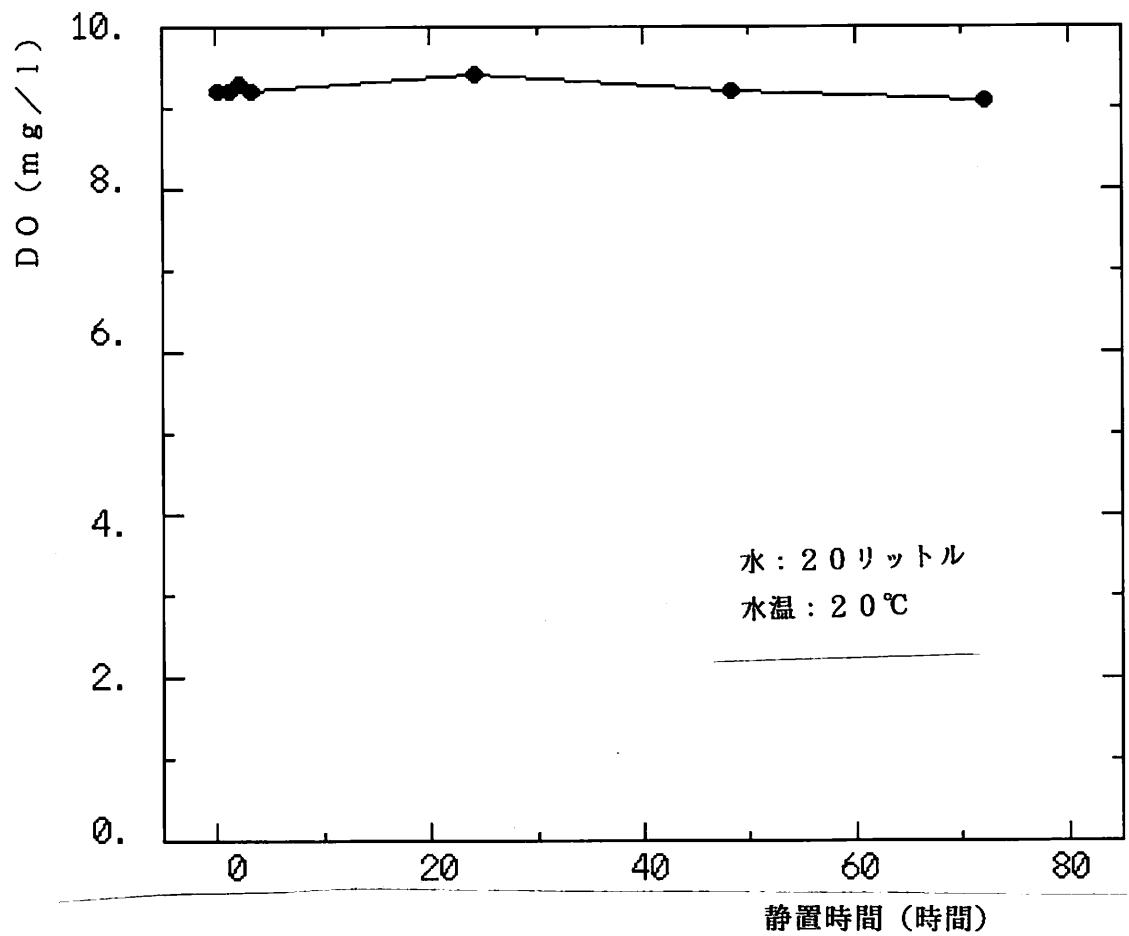


図3 静置時間によるDOの変化

図4 実験1（殺菌・脱気水第1回）における飽和透水係数の時間変化

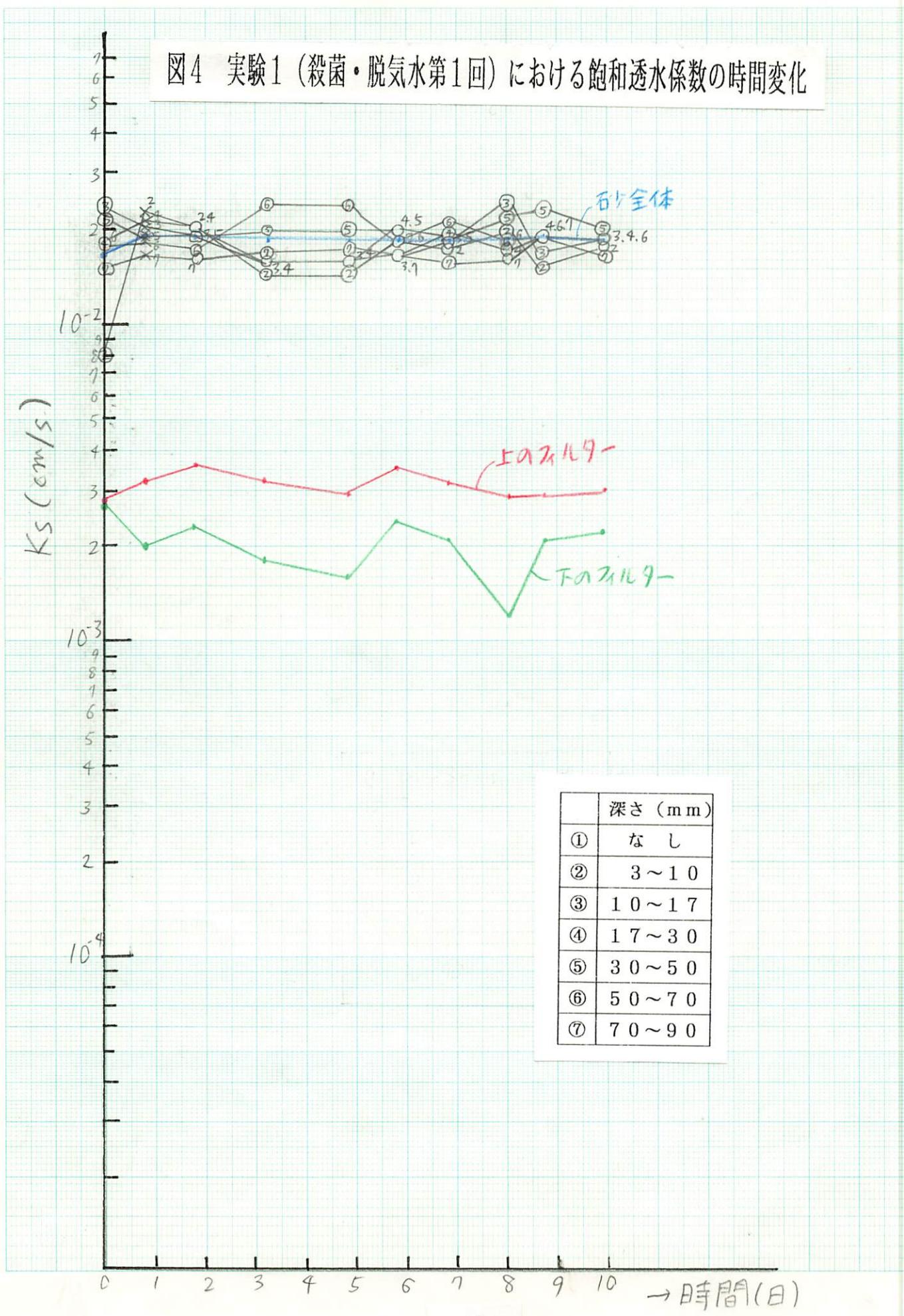
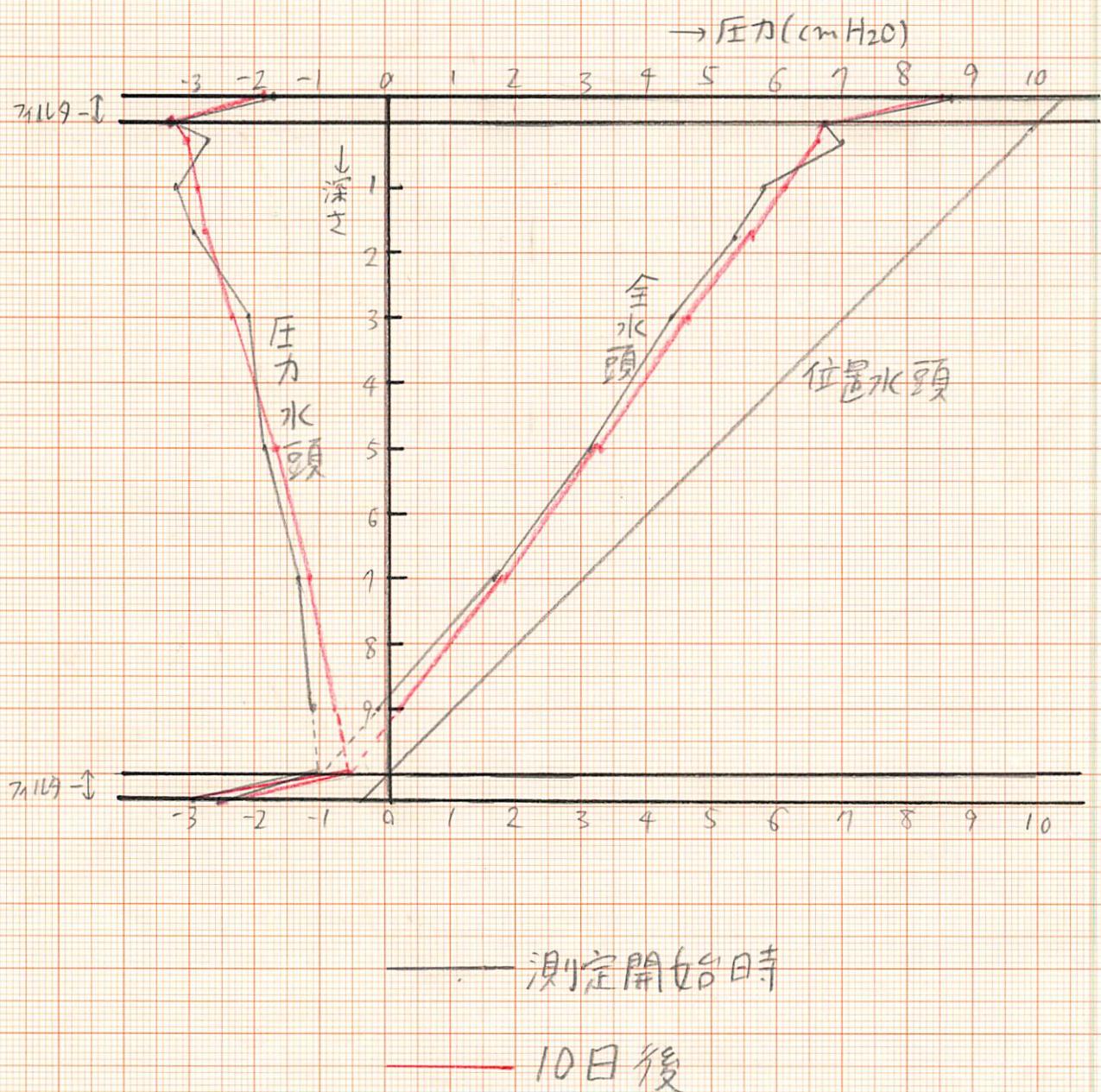


図5 実験1（殺菌・脱気水第1回）における水頭分布図



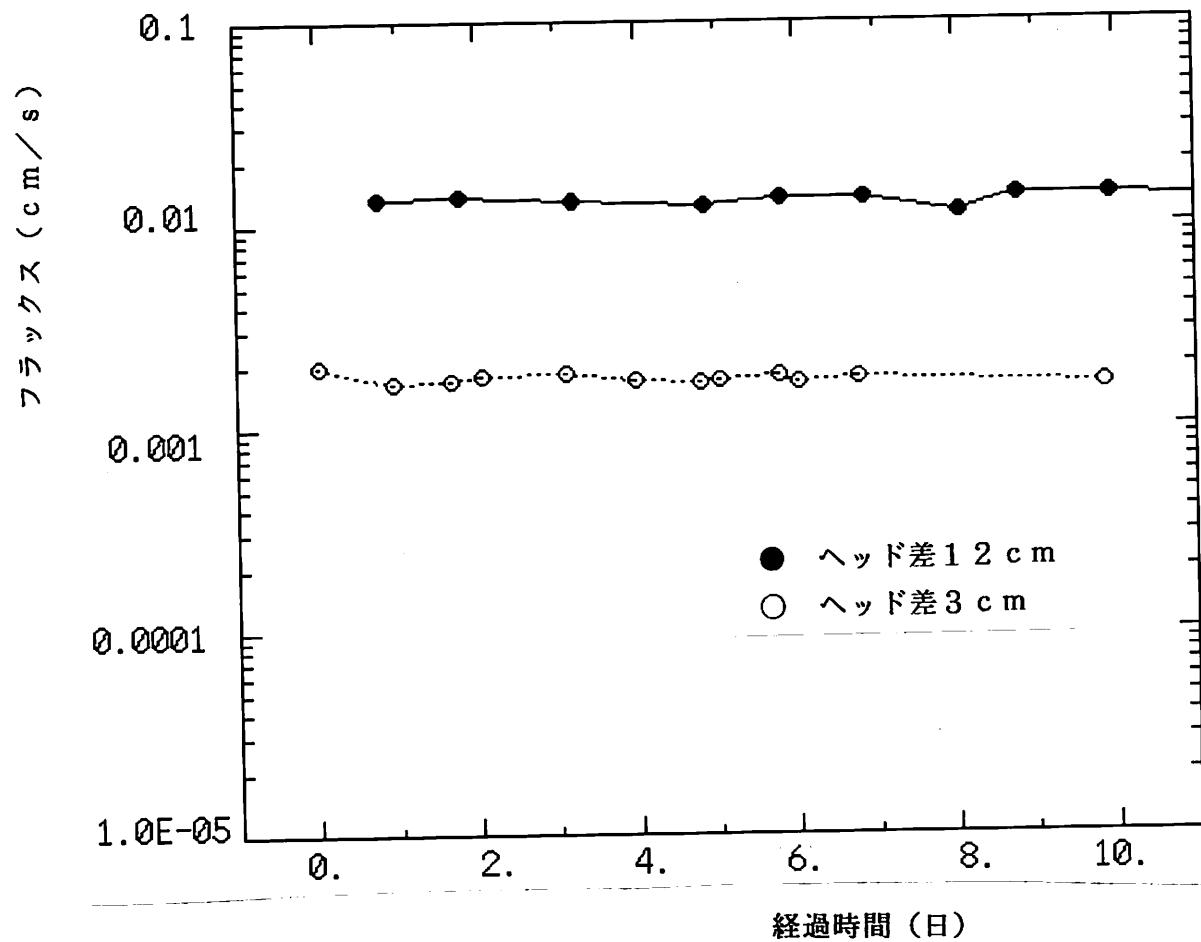


図6 実験1(殺菌・脱気水第1回)におけるフラックスの時間変化

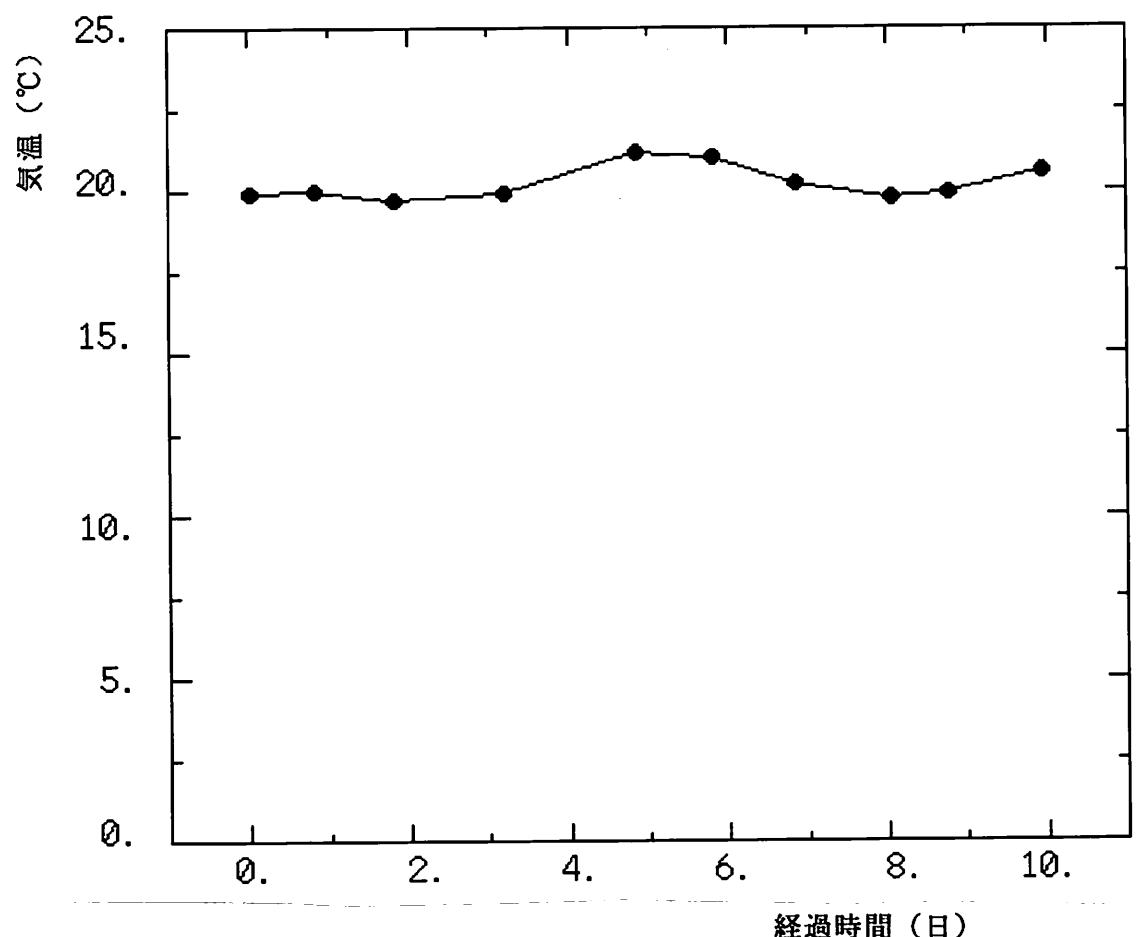


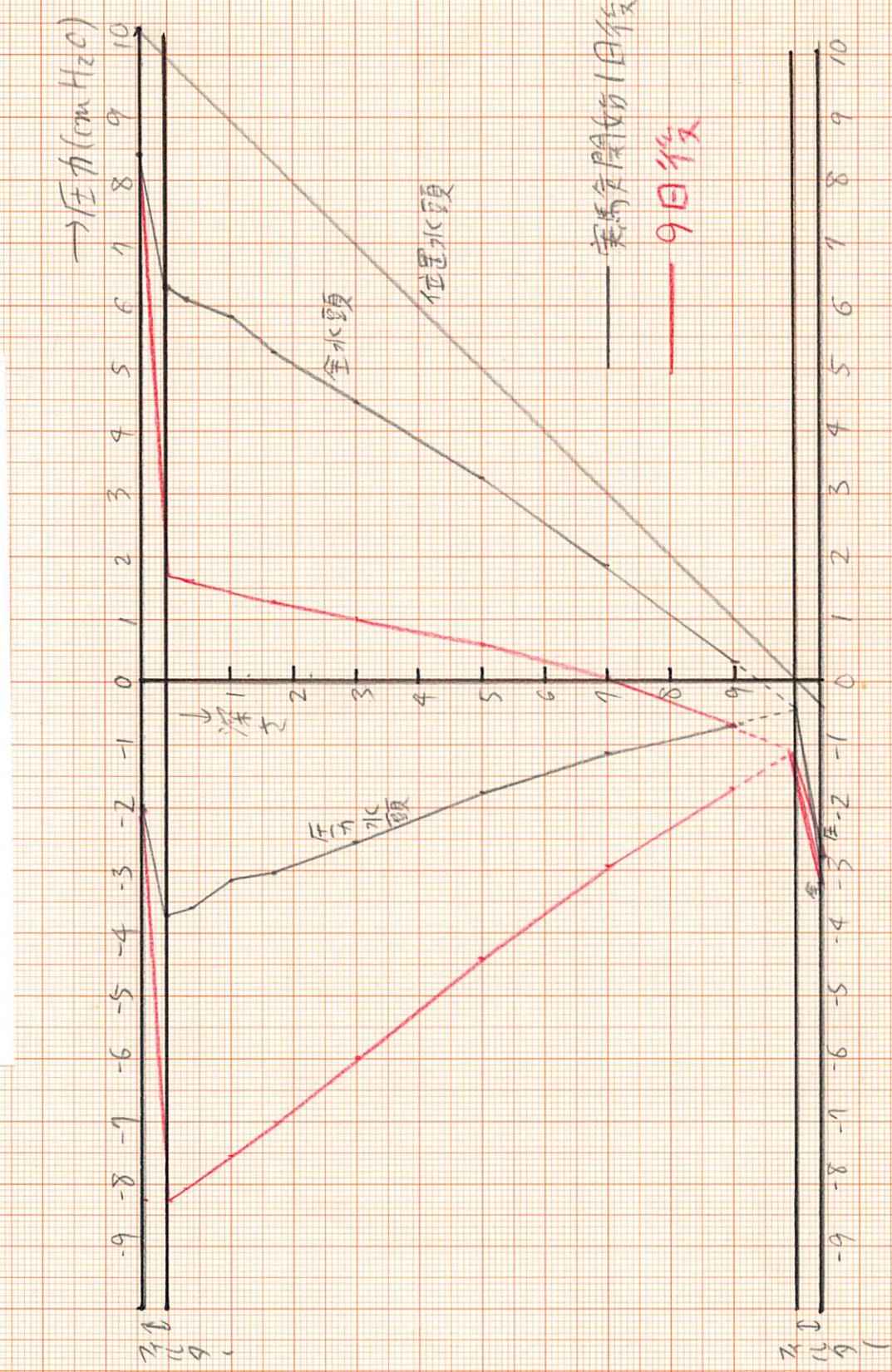
図7 実験1（殺菌・脱気水第1回）における気温の時間変化

透水係数

図8 実験2（栄養・曝気水第1回）における飽和透水係数の時間変化



図9 実験2（栄養・曝氣（第1回）における水頭分布図



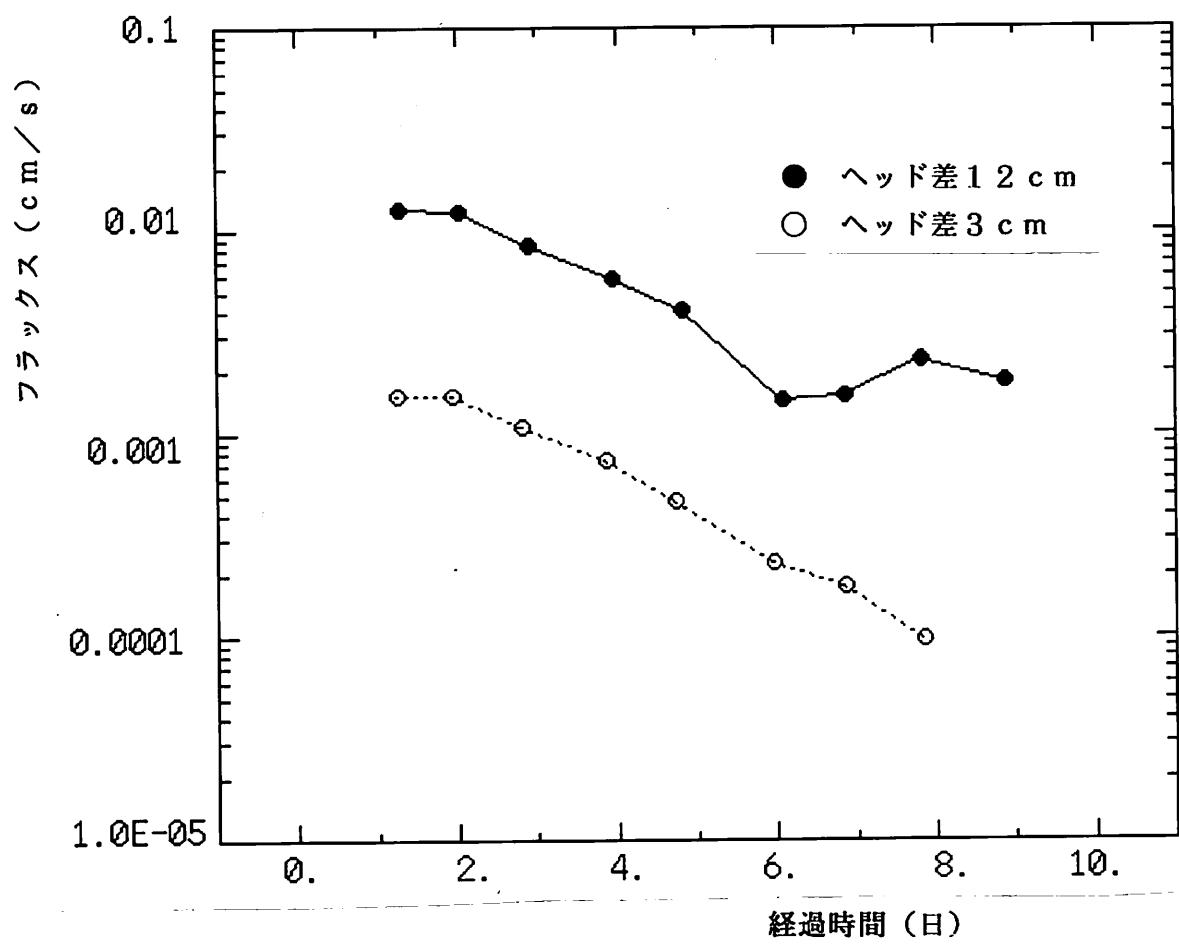


図10 実験2（栄養・曝気水第1回）におけるフラックスの時間変化

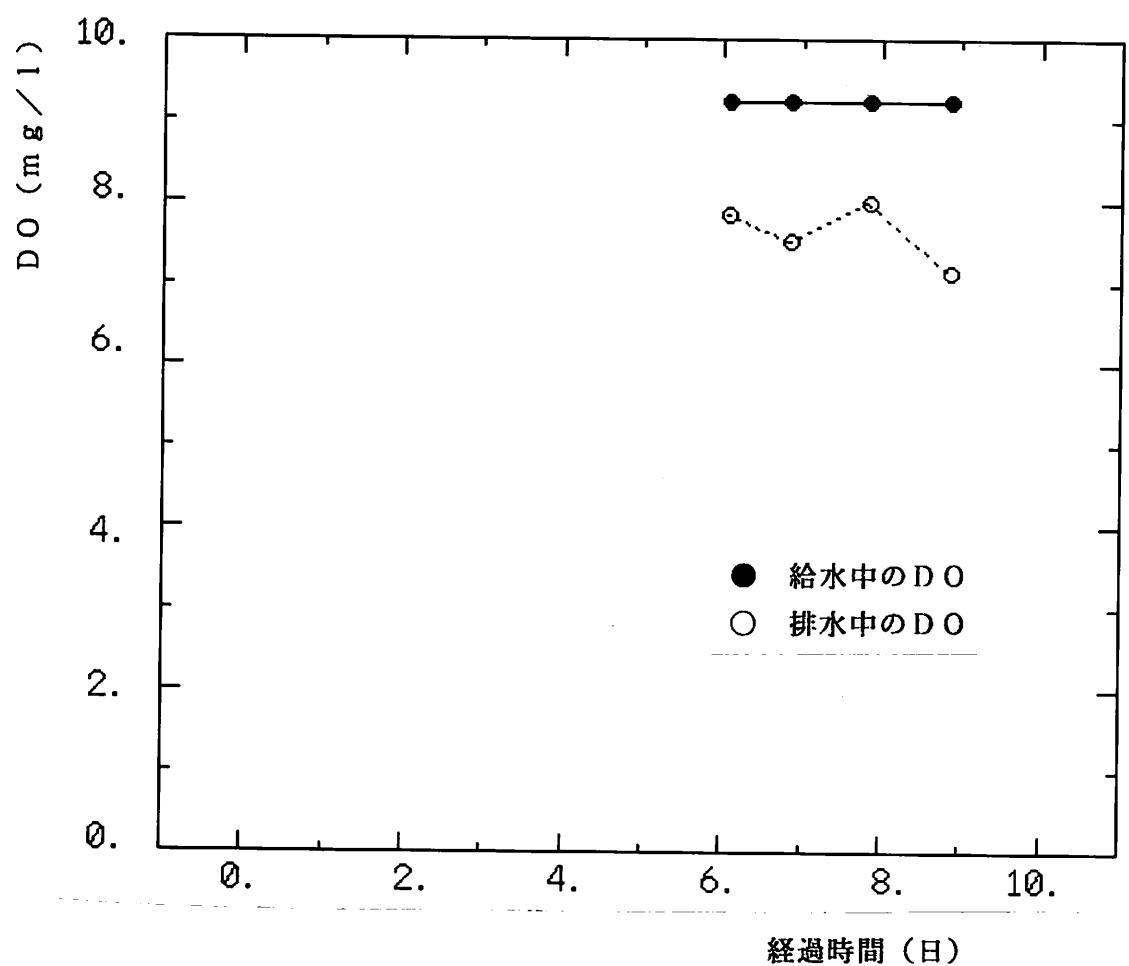


図11 実験2（栄養・曝気水第1回）におけるD Oの時間変化

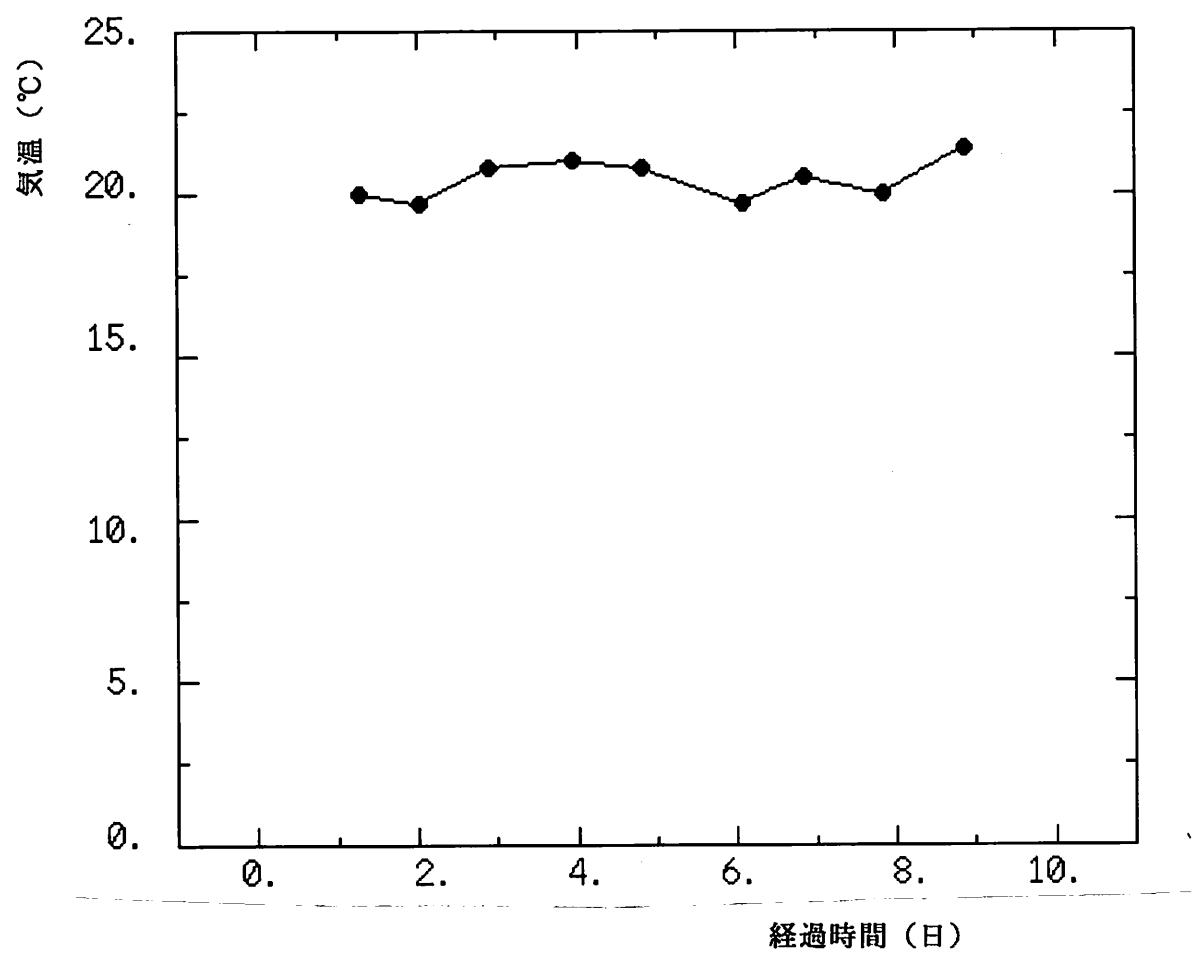


図12 実験2（栄養・曝気水第1回）における気温の時間変化

図13 実験3（栄養・静置水）における飽和透水係数の時間変化

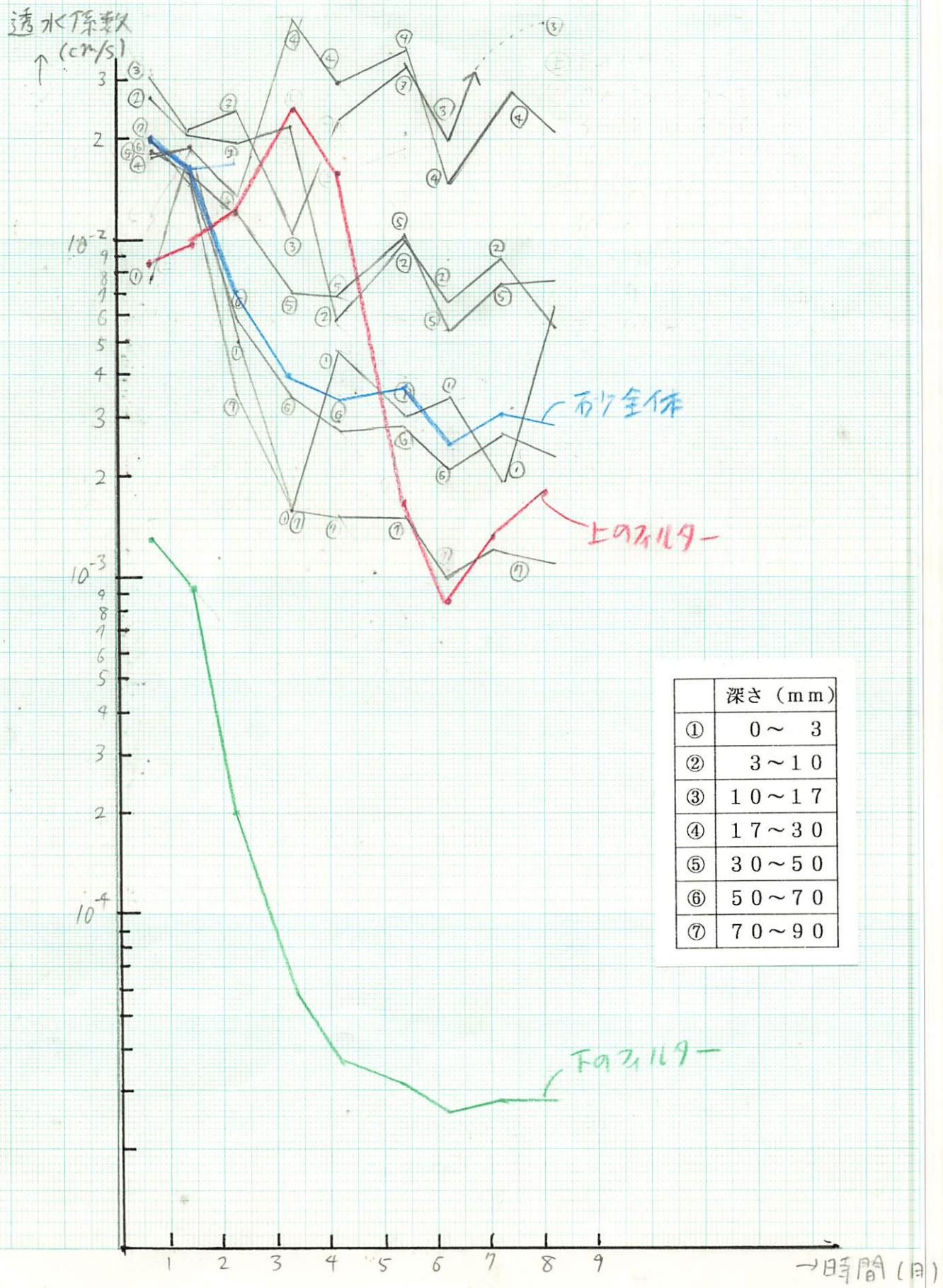


図14 実験3(栄養・静置水)における水頭分布図



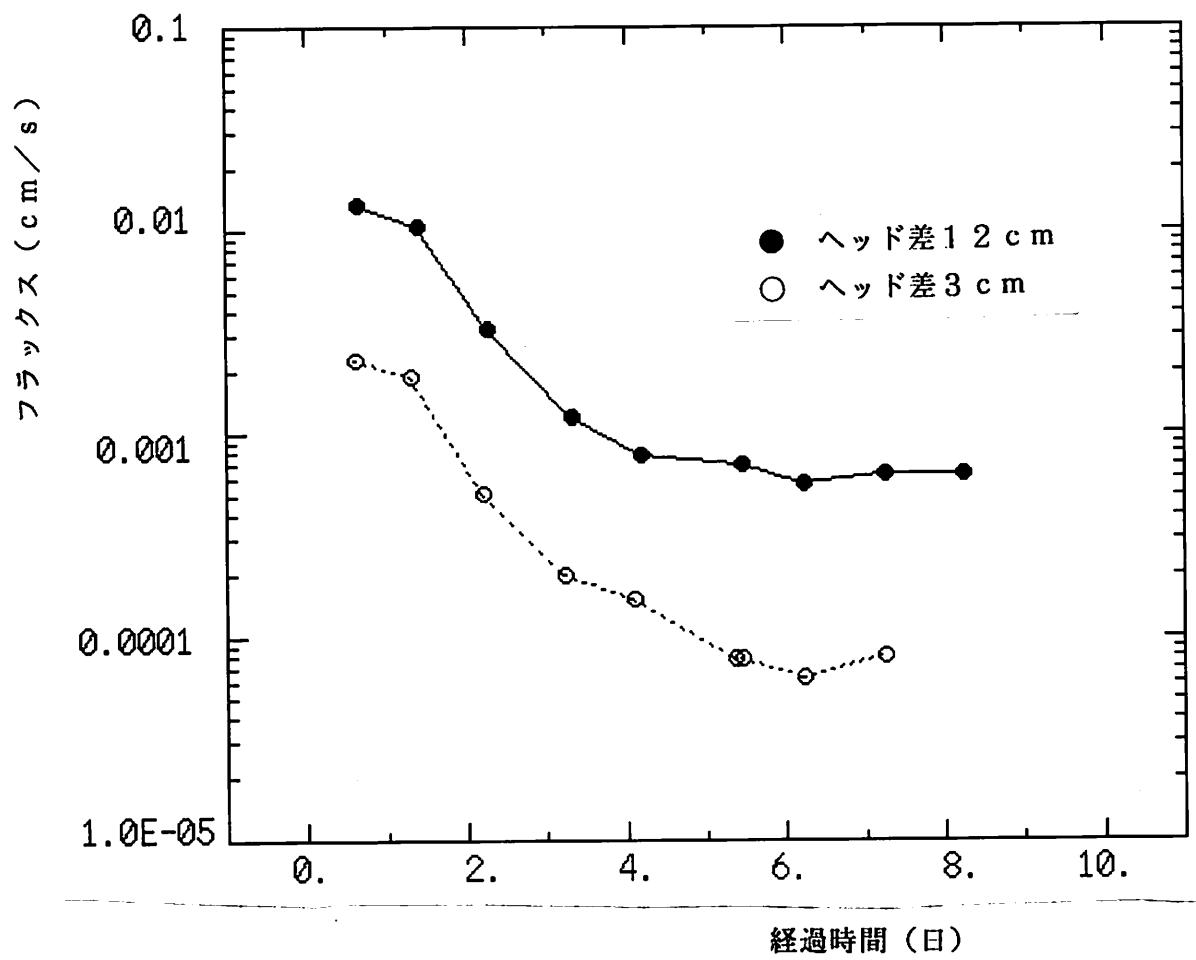


図15 実験3(栄養・静置水)におけるフラックスの時間変化

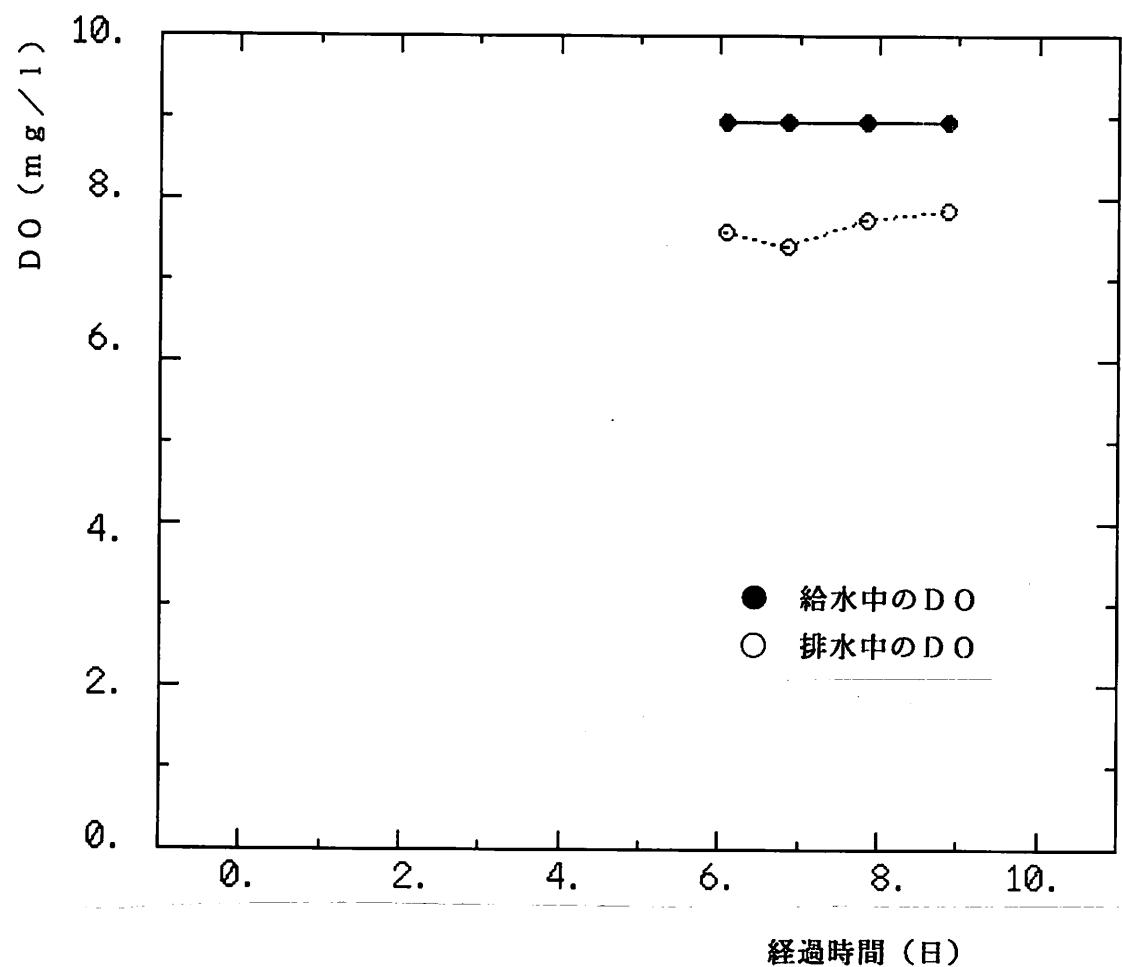


図16 実験3(栄養・静置水)におけるDOの時間変化

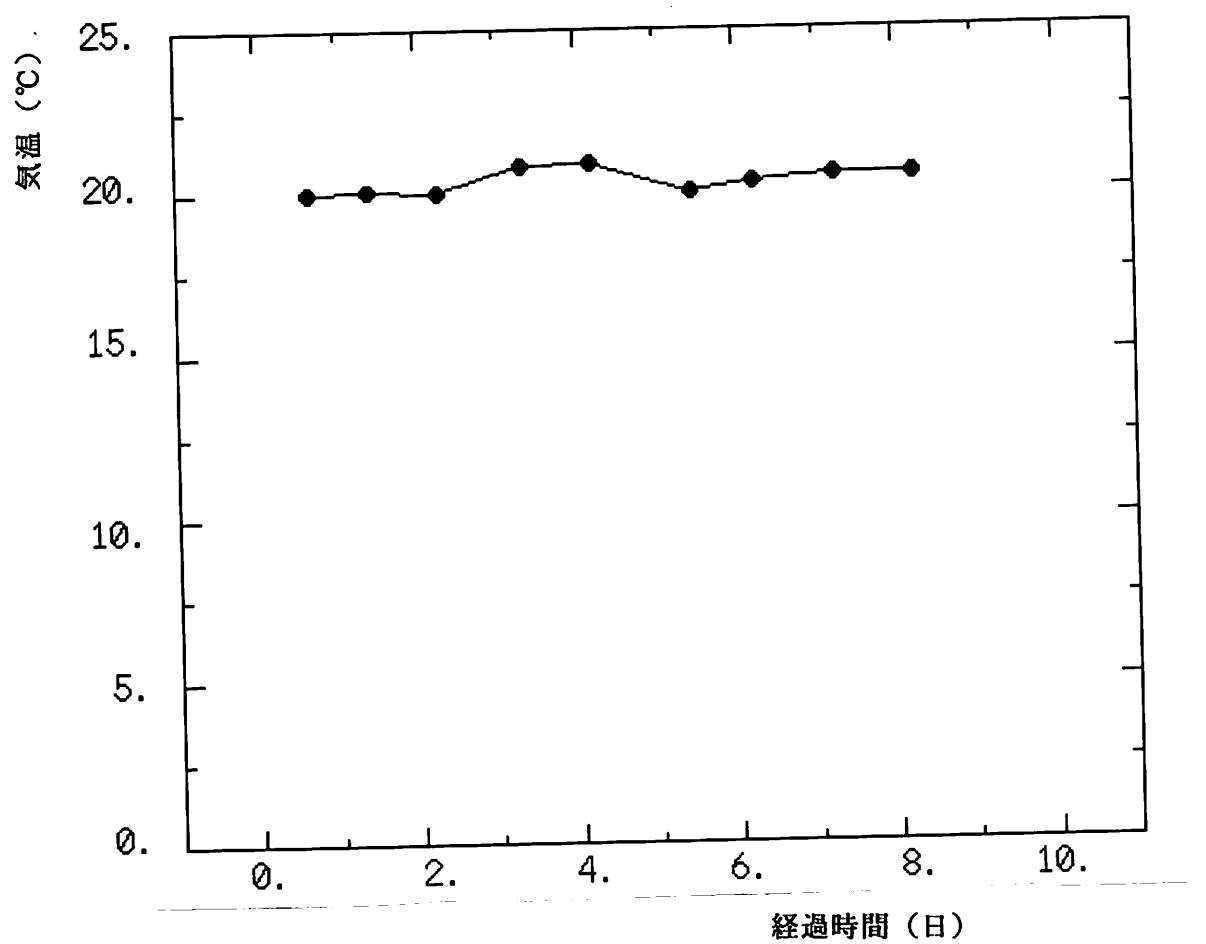


図17 実験3（栄養・静置水）における気温の時間変化

図19 実験4（殺菌・脱気水第2回）における飽和透水係数の時間変化

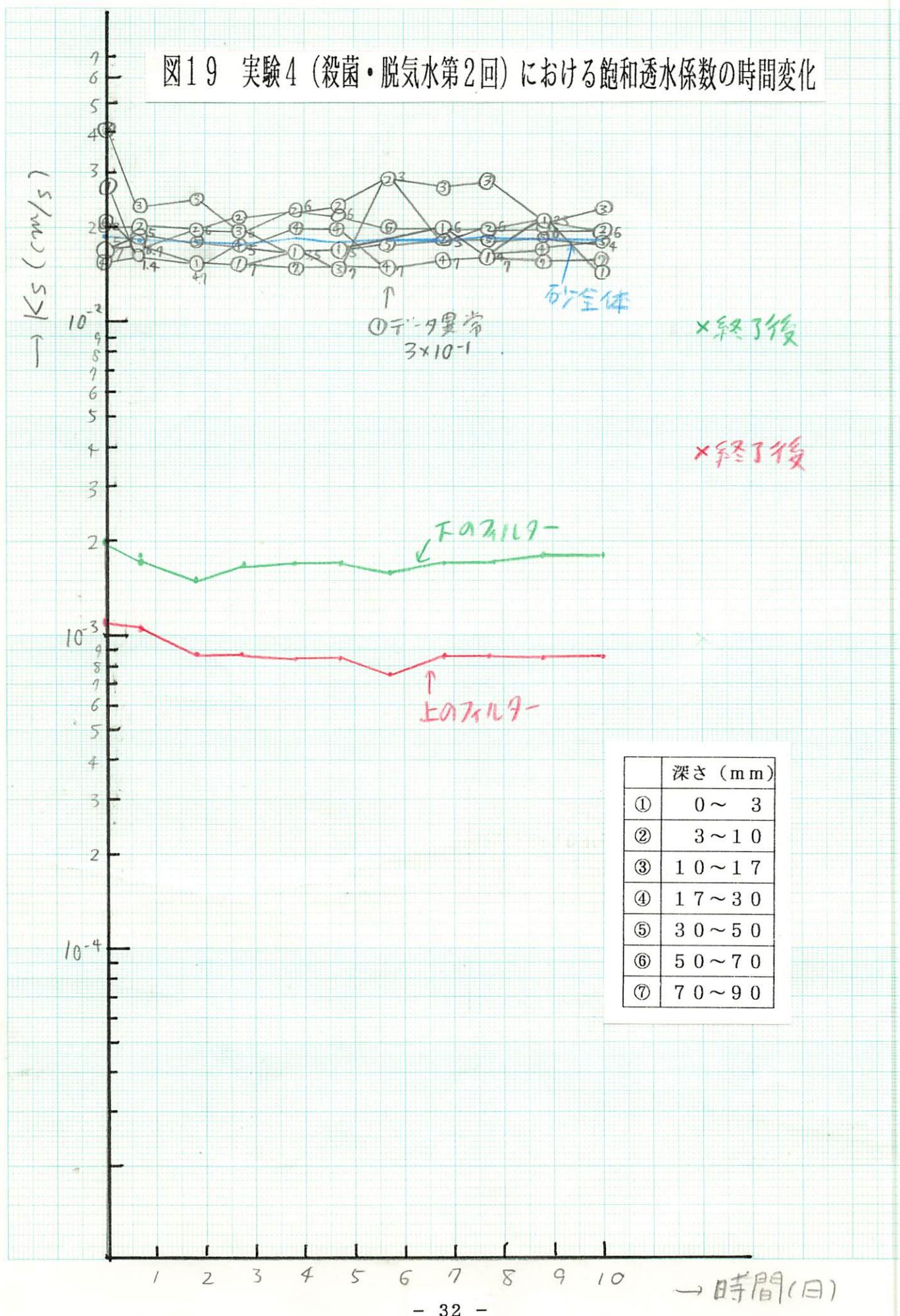
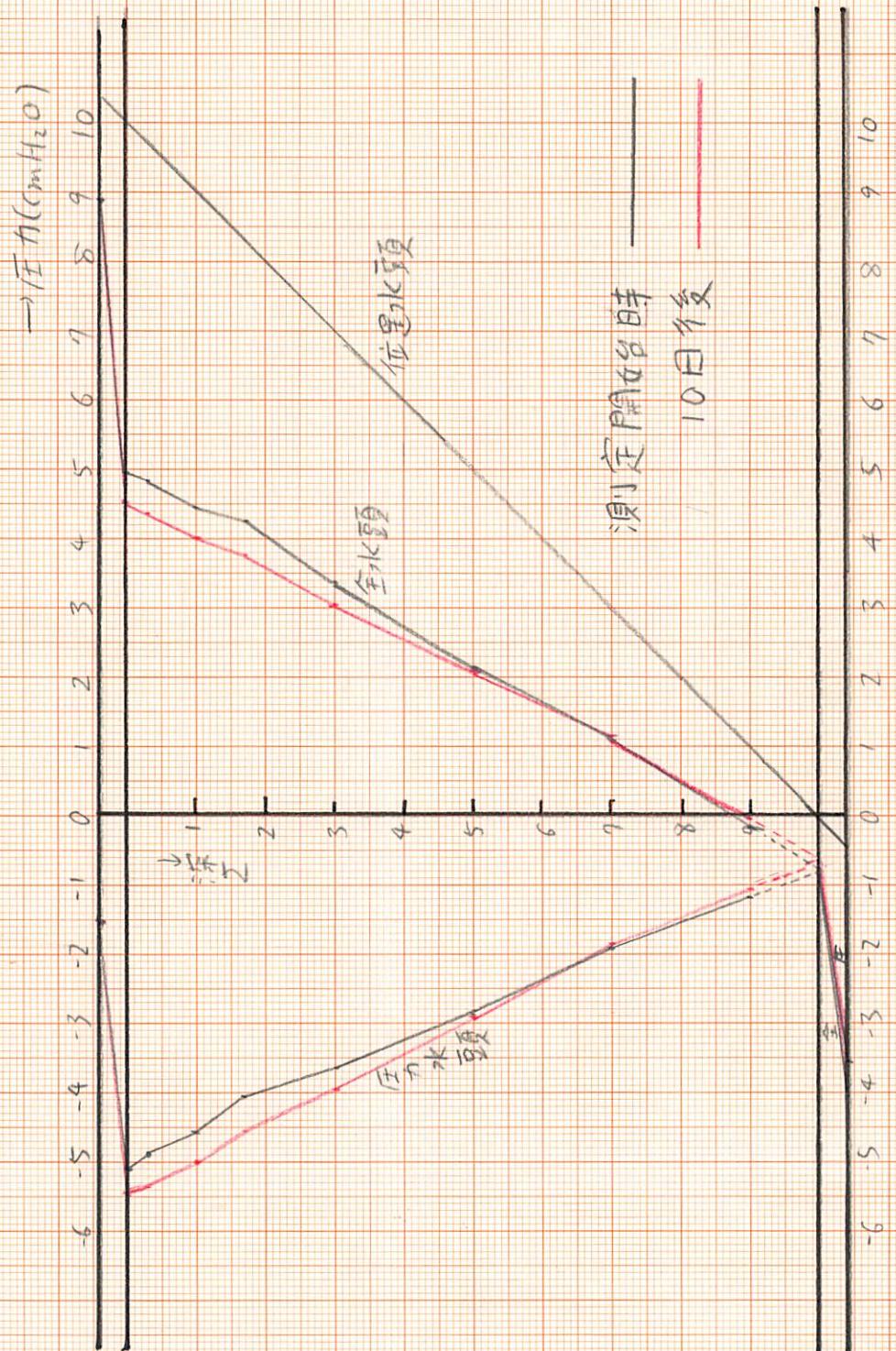


図20 実験4(殺菌・脱気水第2回)における水頭分布図



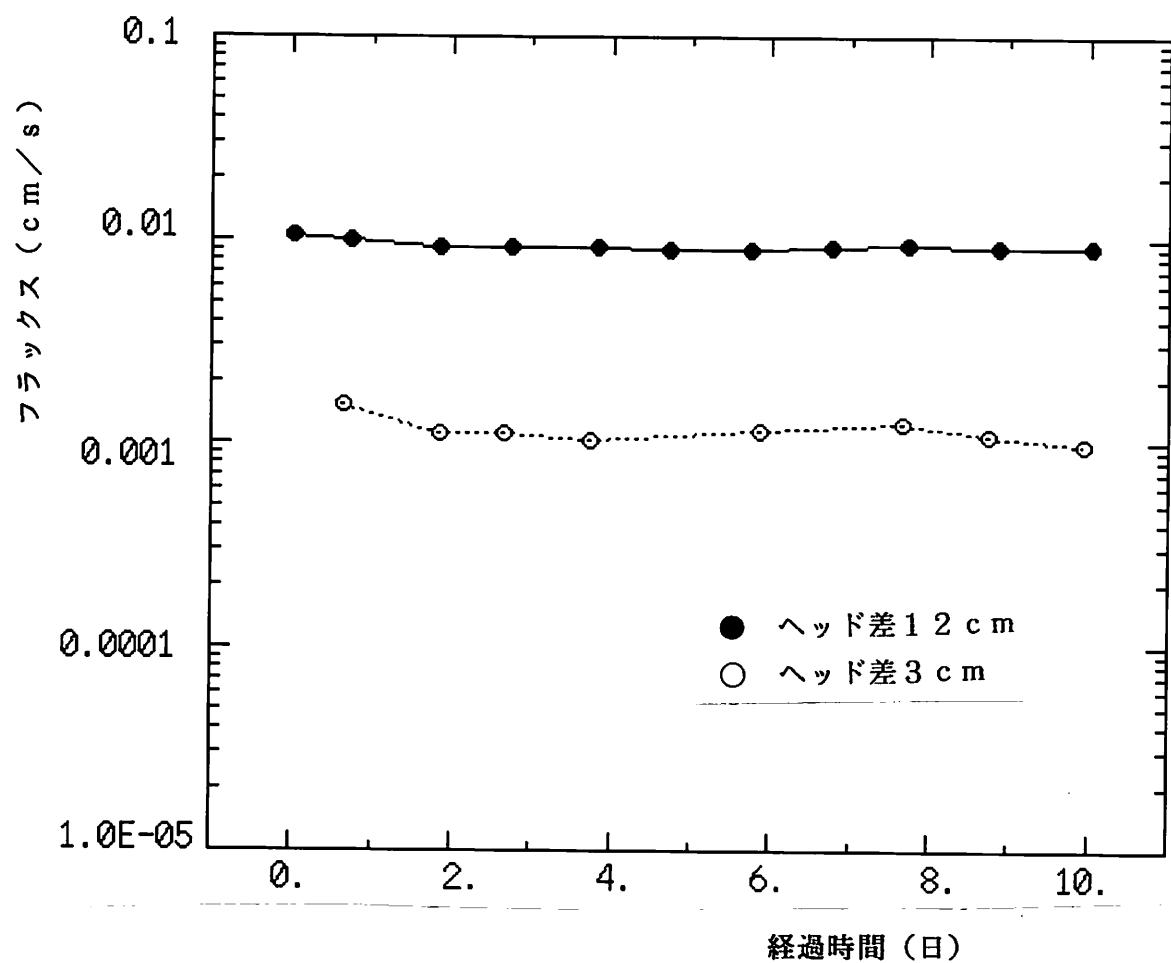


図21 実験4(殺菌・脱気水第2回)におけるフラックスの時間変化

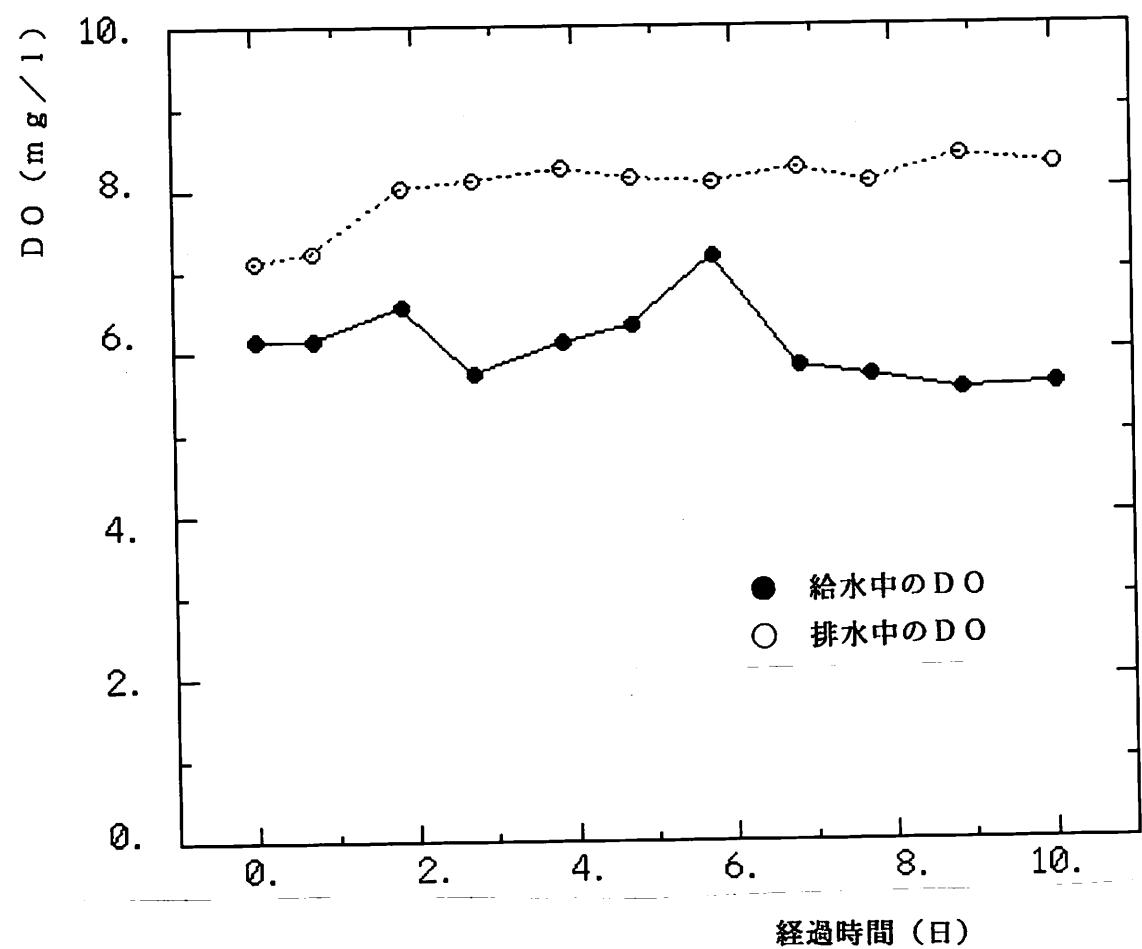


図22 実験4(殺菌・脱気水第2回)におけるDOの時間変化

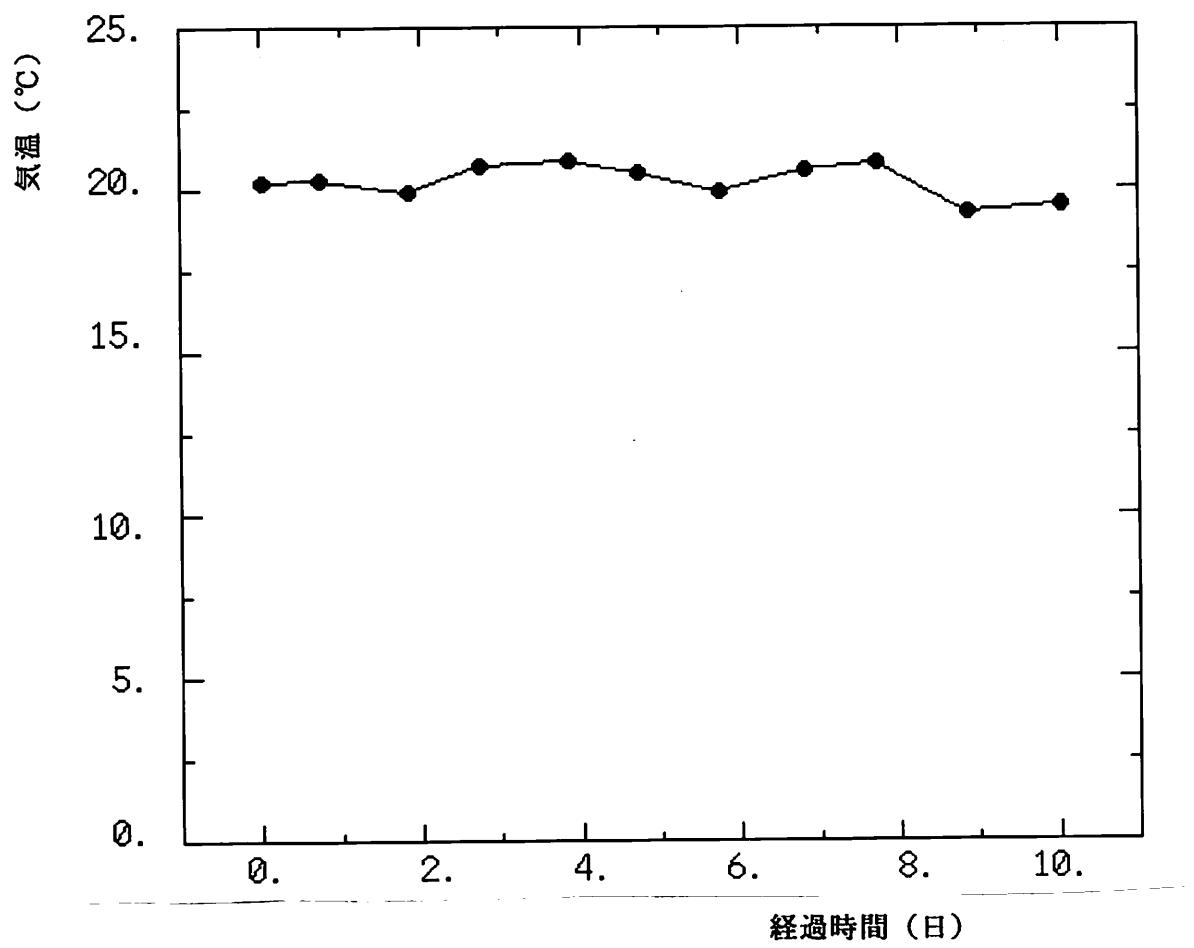


図23 実験4（殺菌・脱気水第2回）における気温の時間変化

図24 実験5(殺菌・曝気水)における飽和透水係数の時間変化

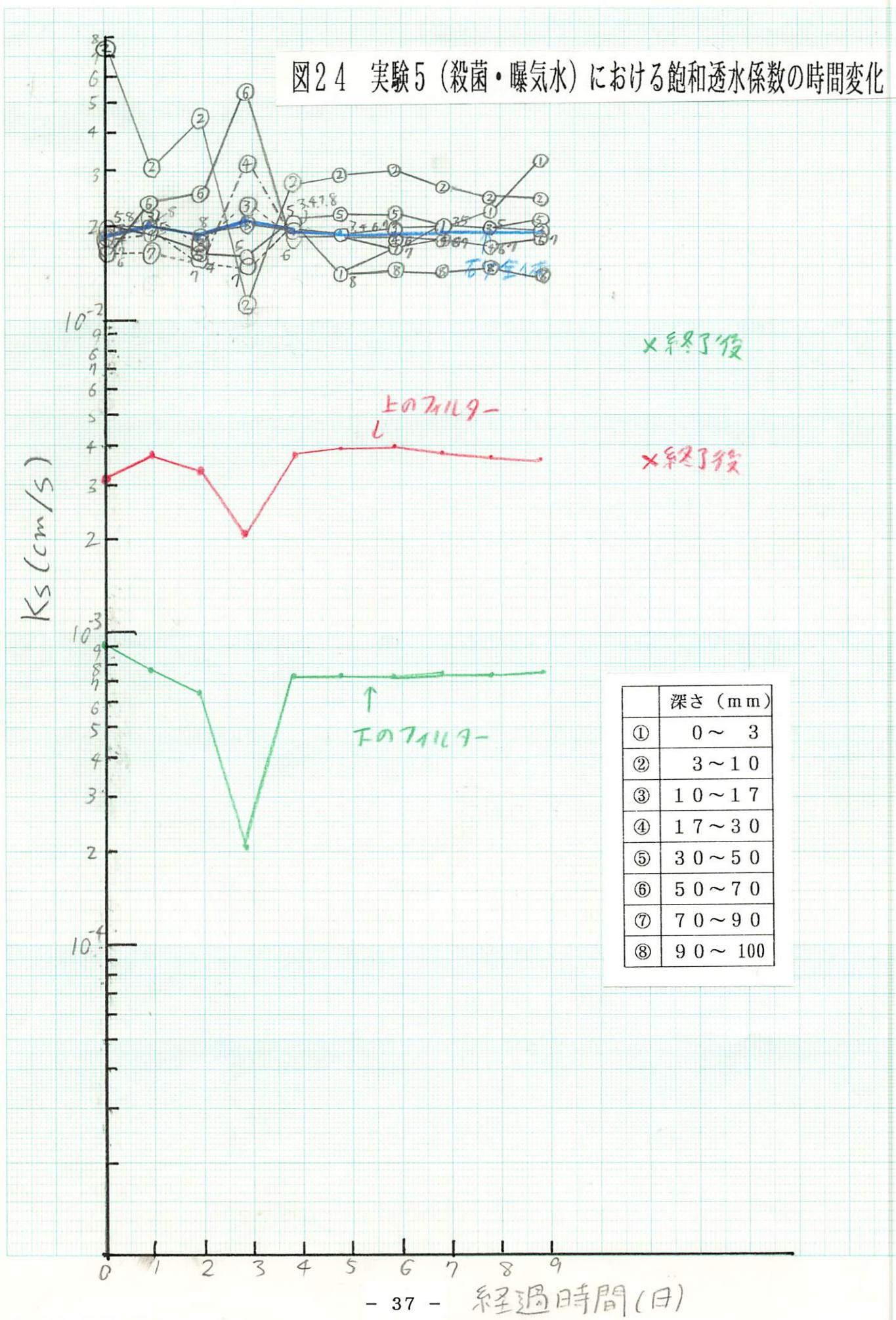
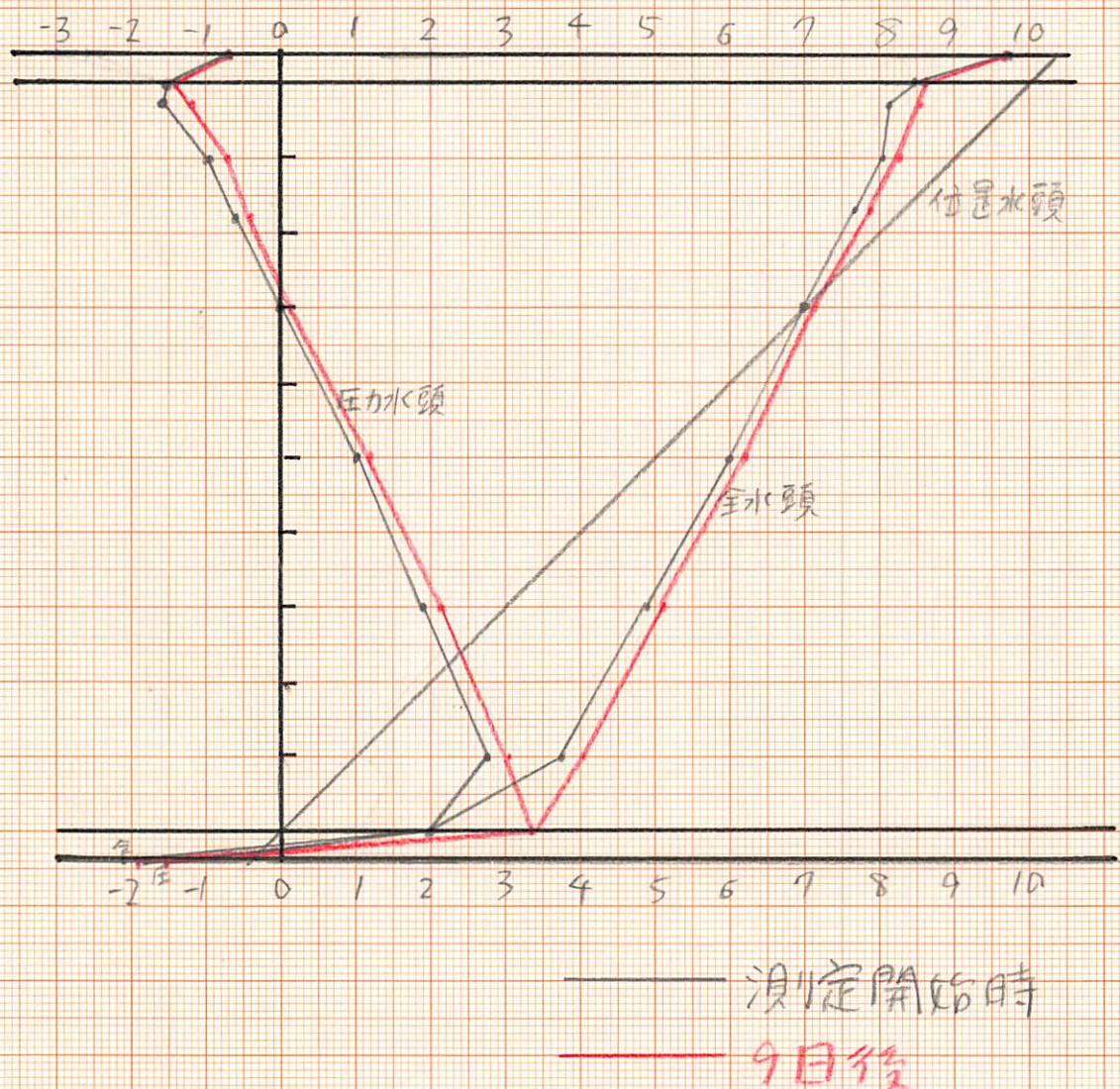


図25 実験5（殺菌・曝気水）における水頭分布図



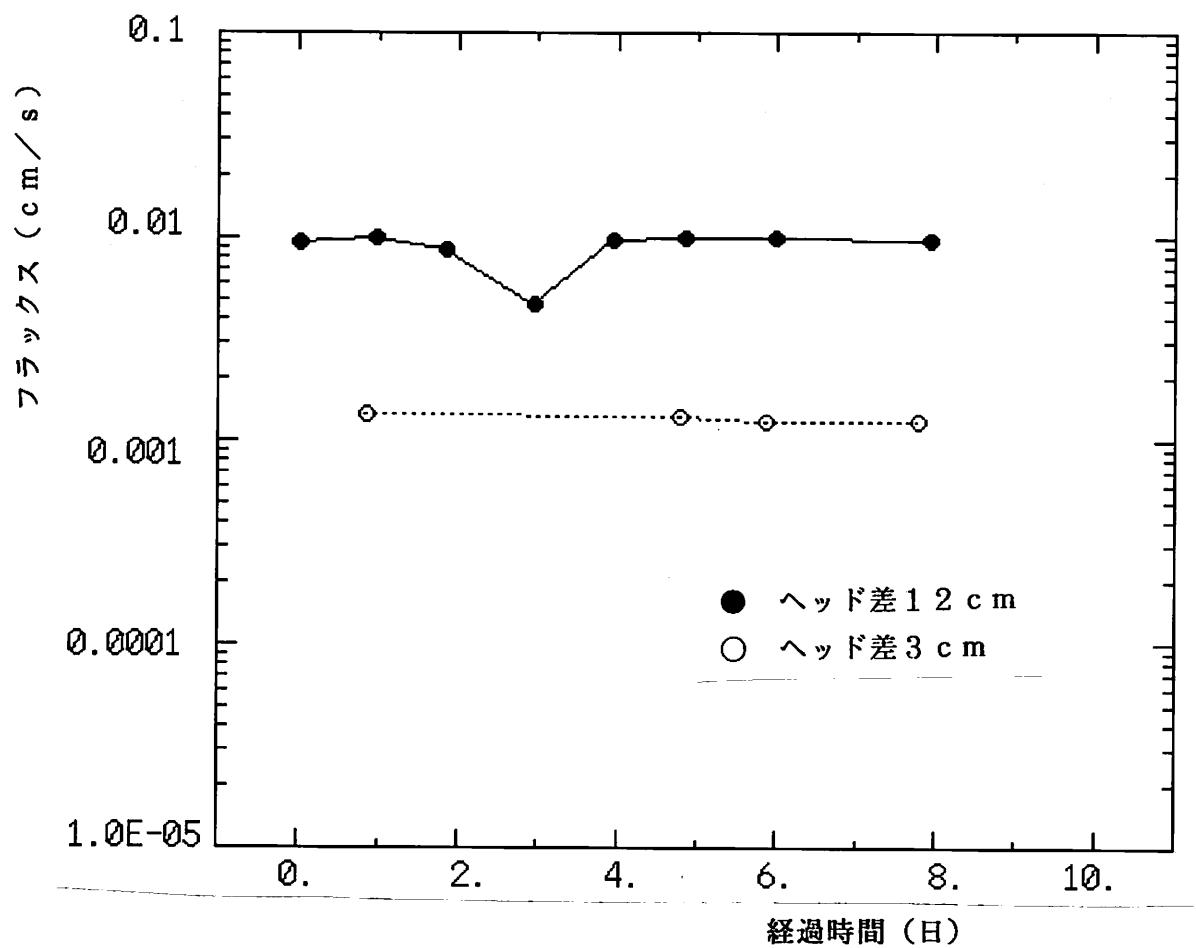


図26 実験5(殺菌・曝気水)におけるフラックスの時間変化

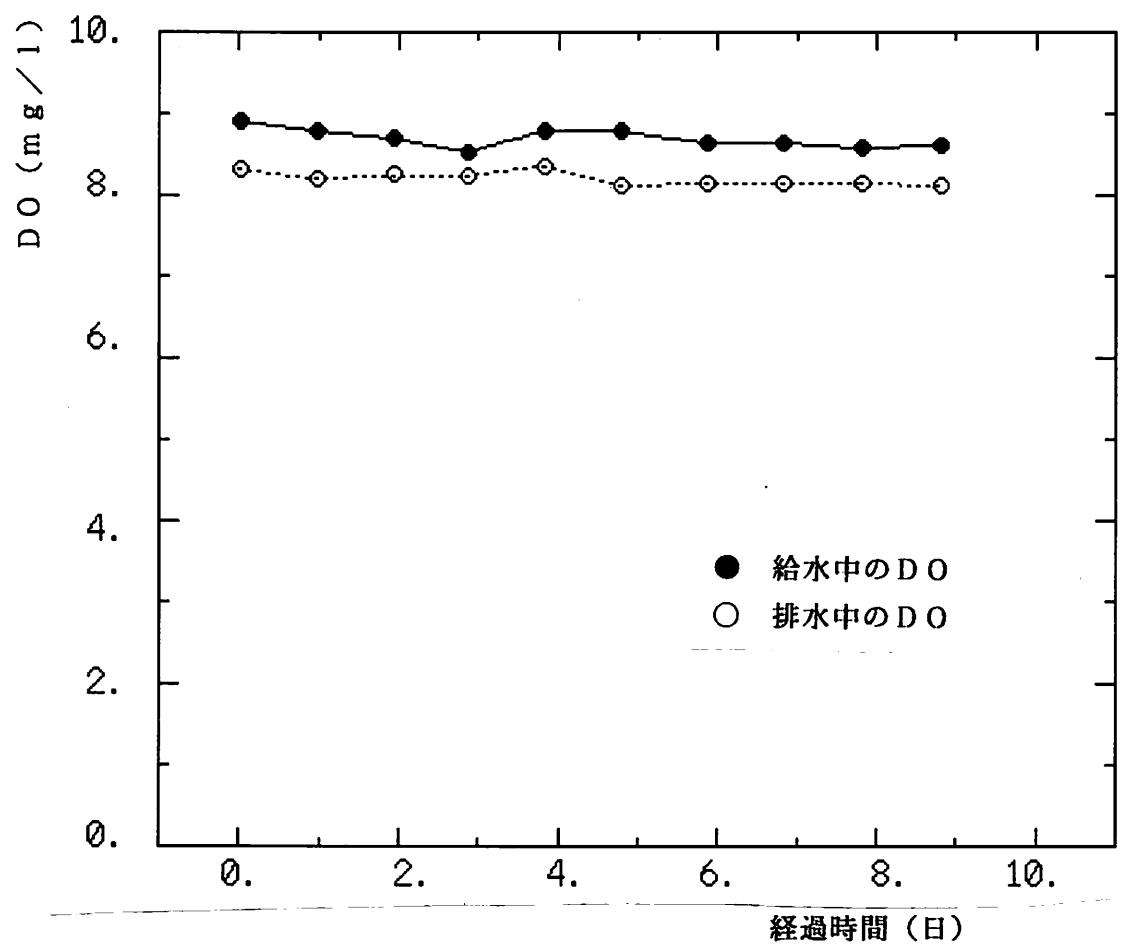


図27 実験5(殺氣・曝気水)におけるDOの時間変化

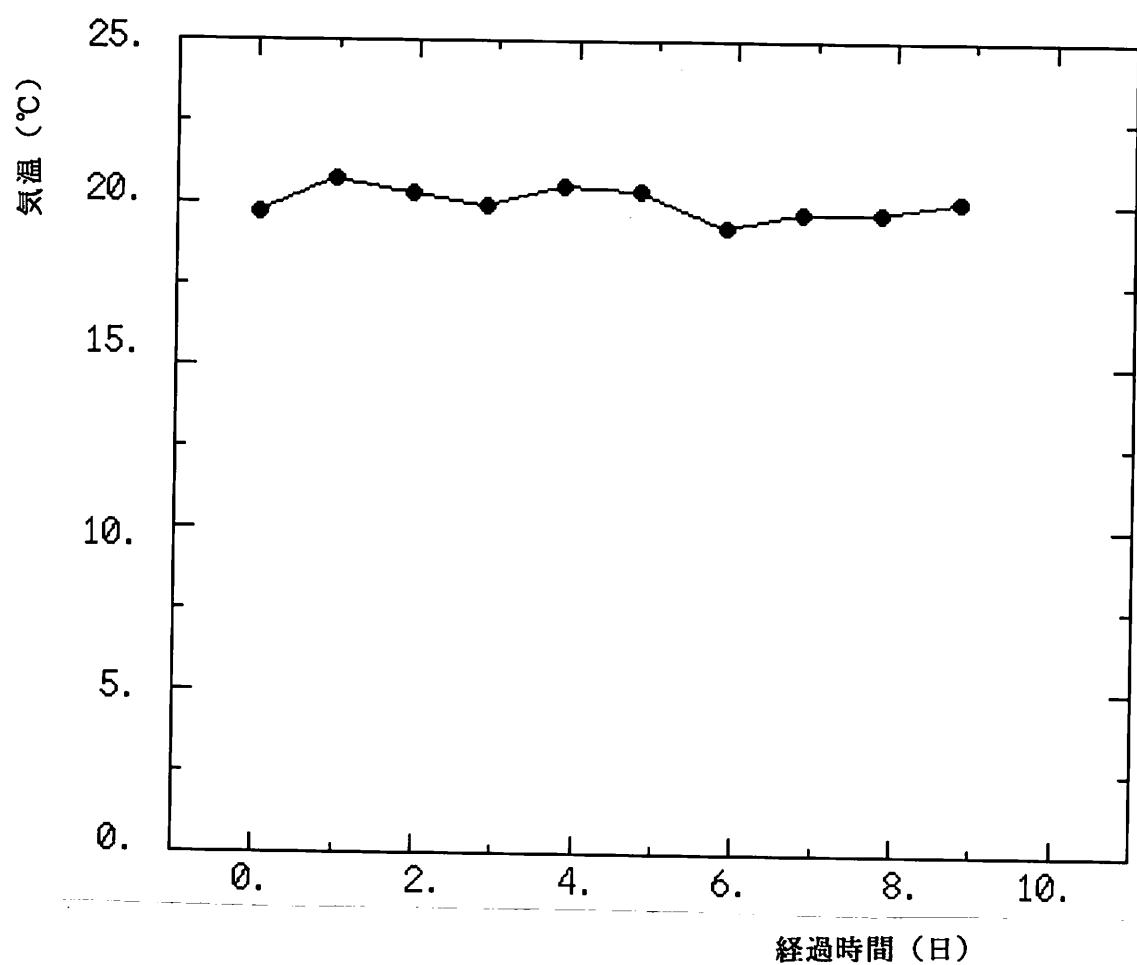


図28 実験5（殺菌・曝気水）における気温の時間変化

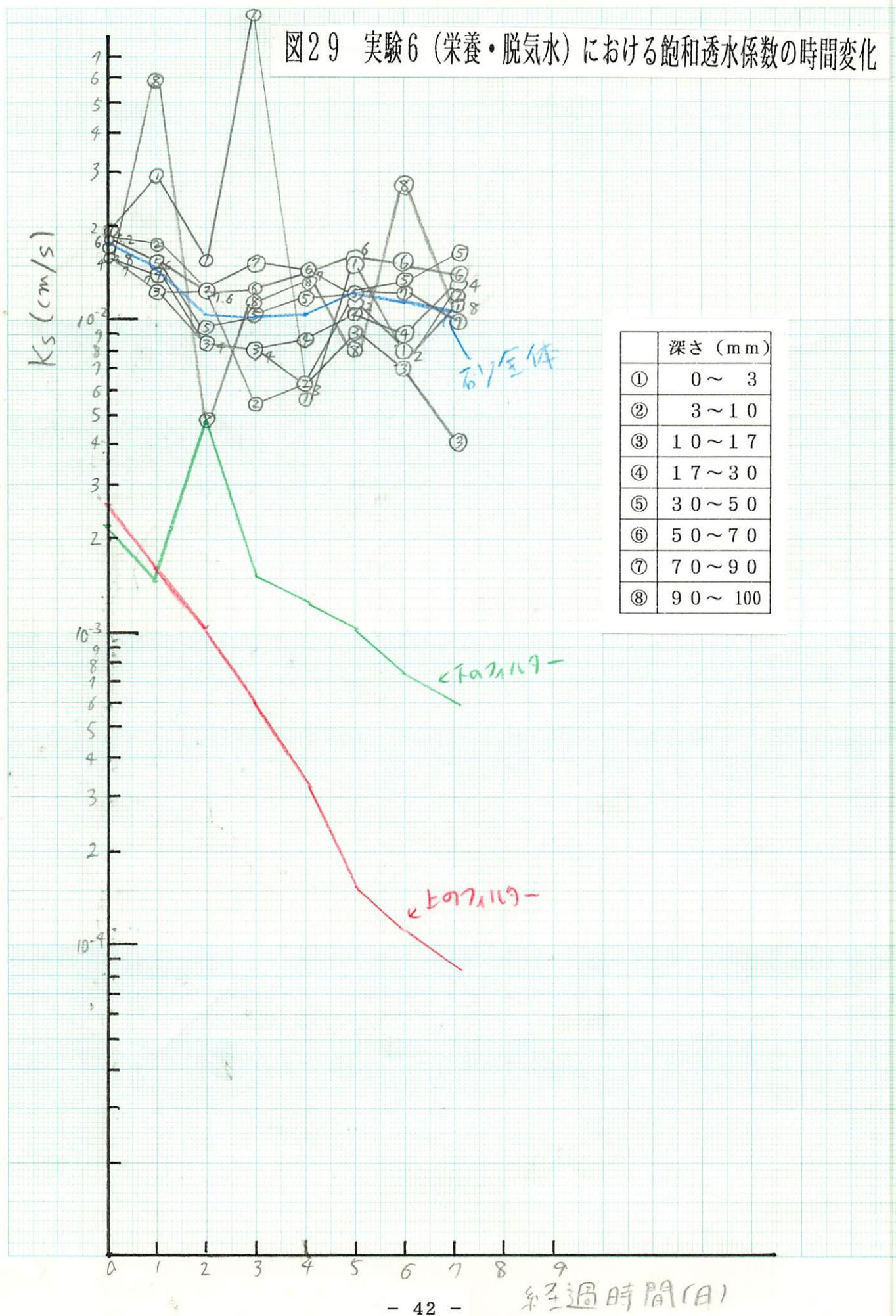
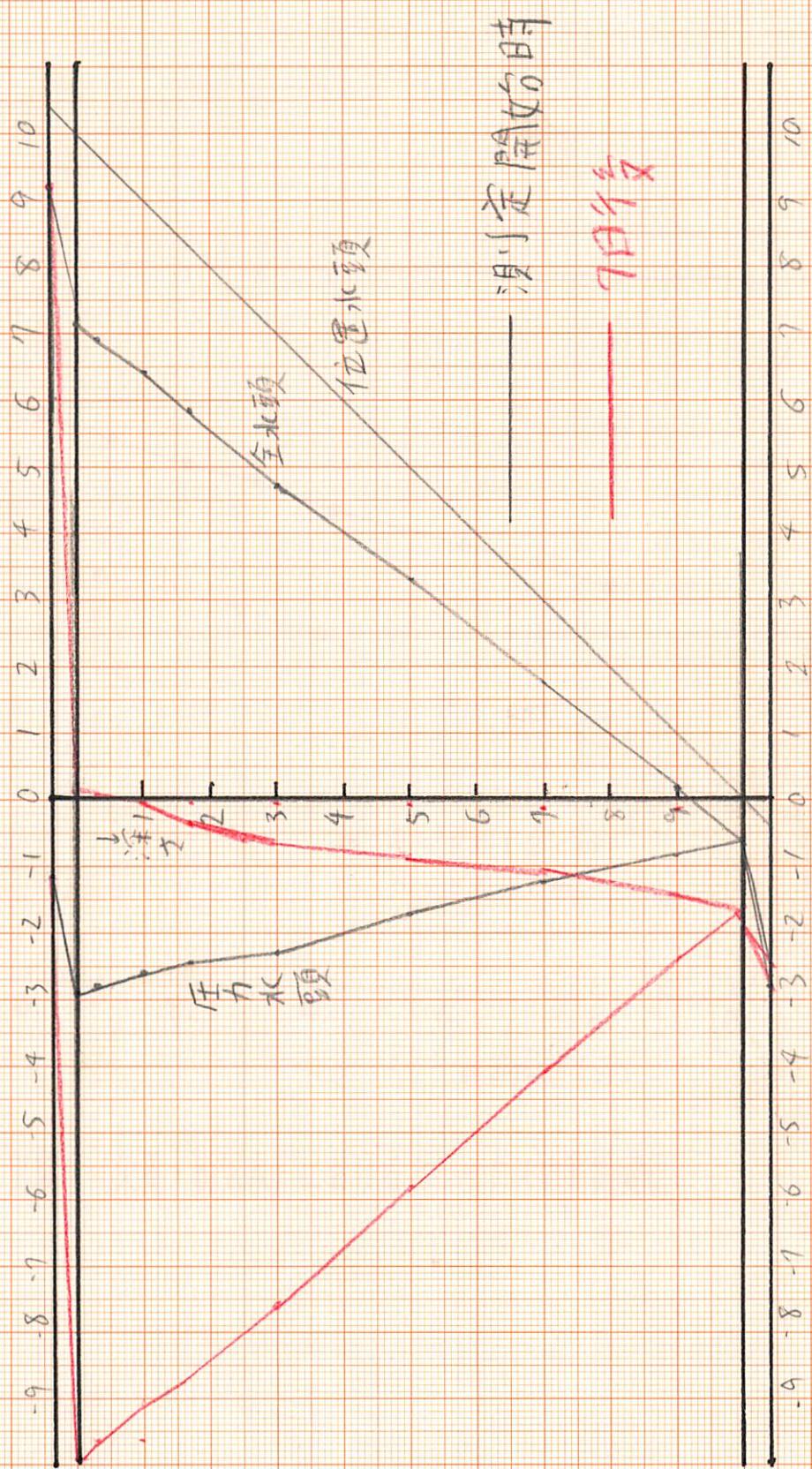


図30 実験6（栄養・脱気水）における水頭分布図



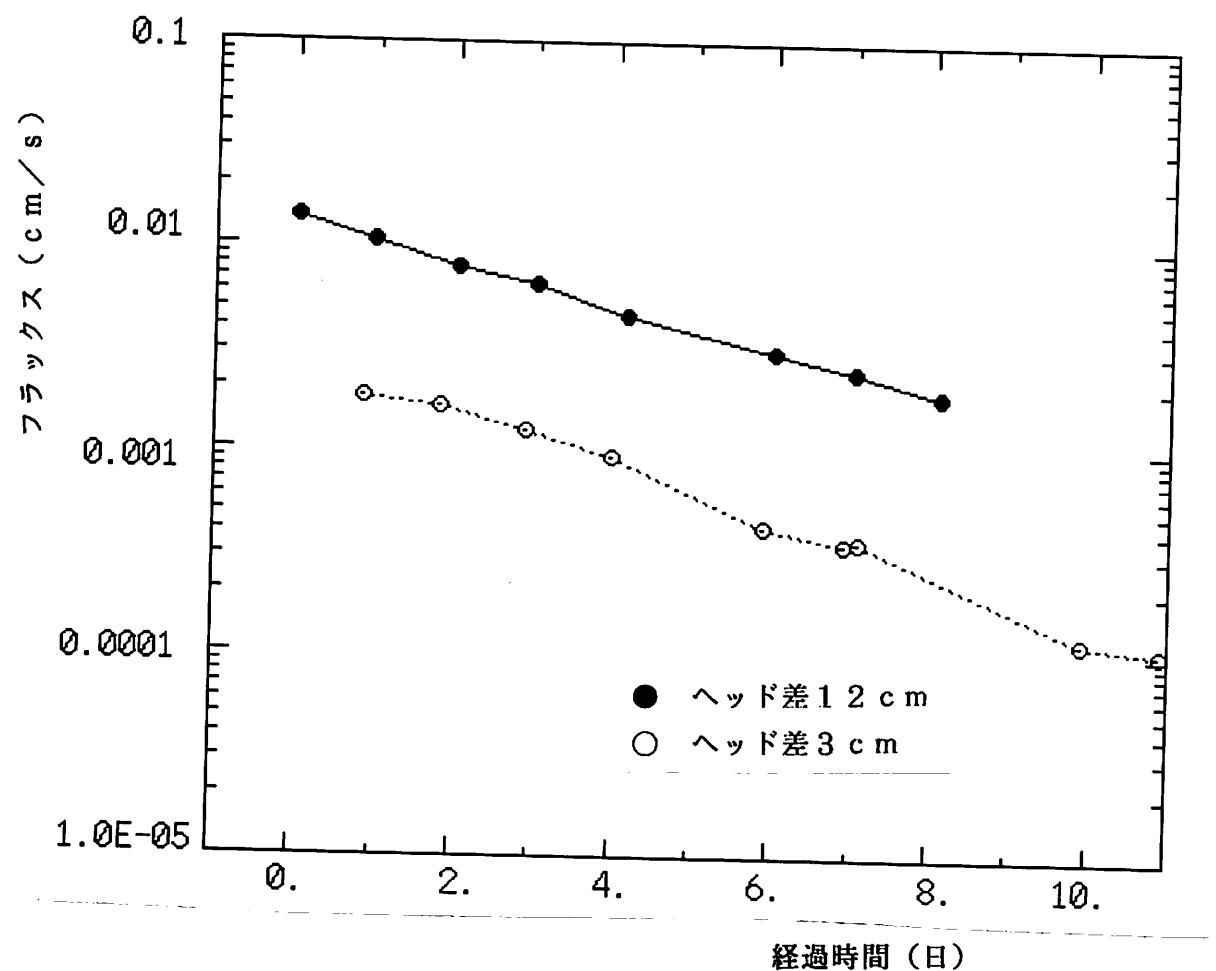


図31 実験6(栄養・脱気水)におけるフラックスの時間変化

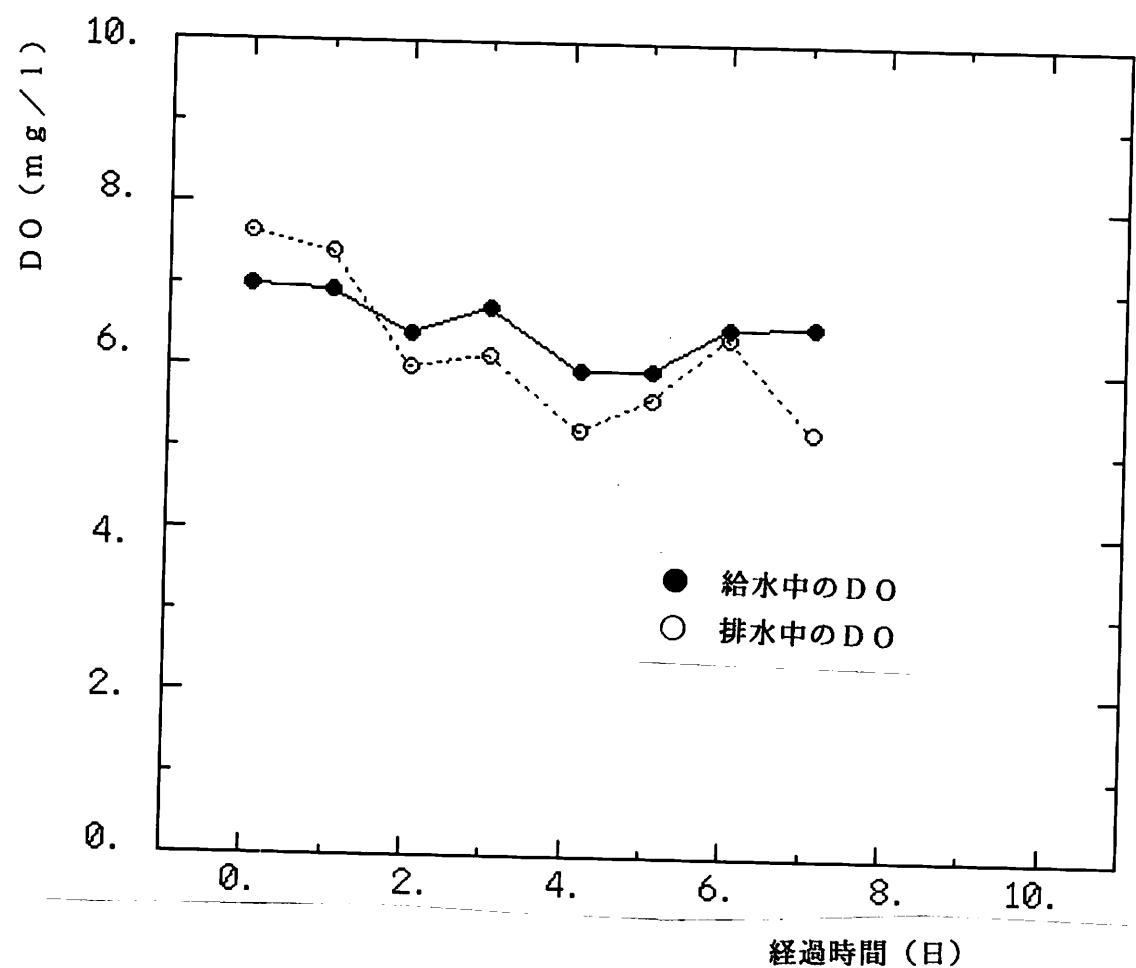


図32 実験6(栄養・脱気水)におけるDOの時間変化

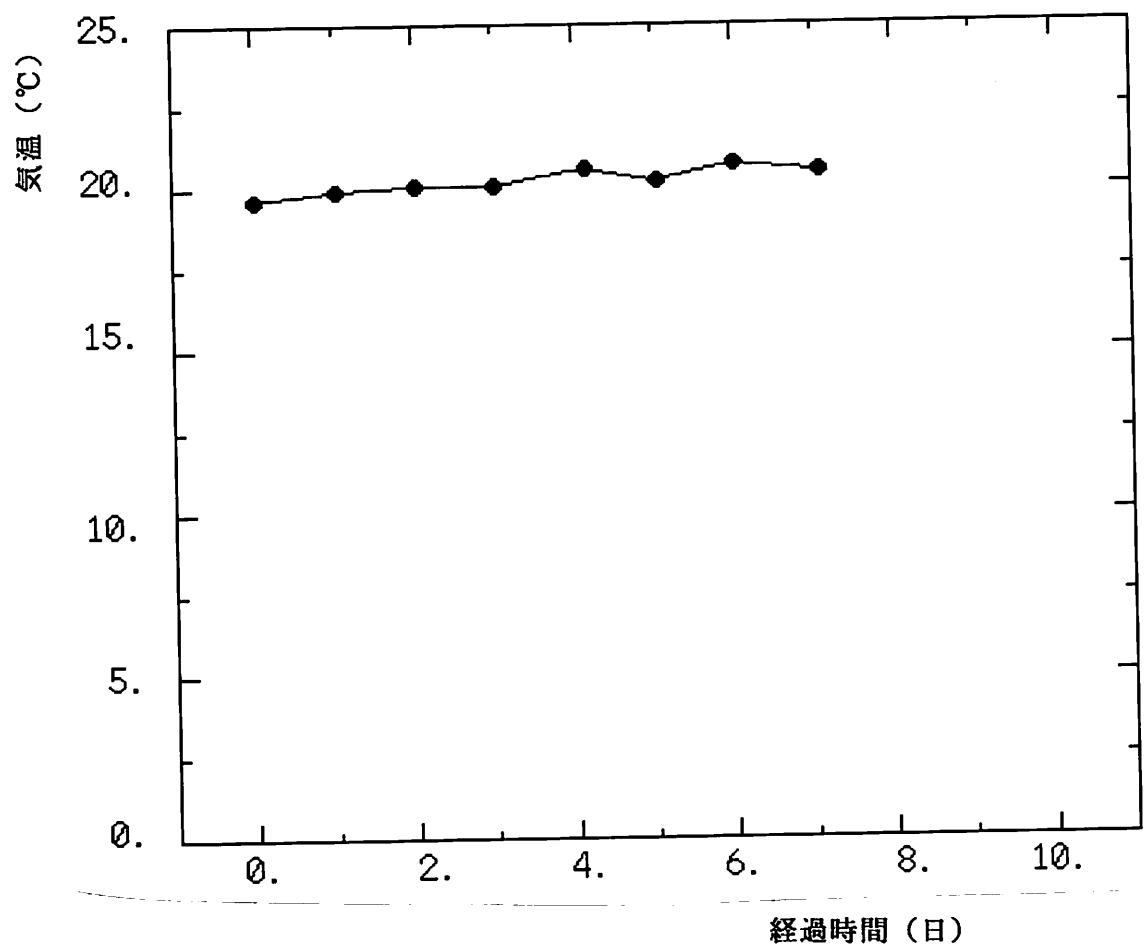


図33 実験6(栄養・脱気水)における気温の時間変化

図34 実験7（栄養・曝気水第2回）における飽和透水係数の時間変化

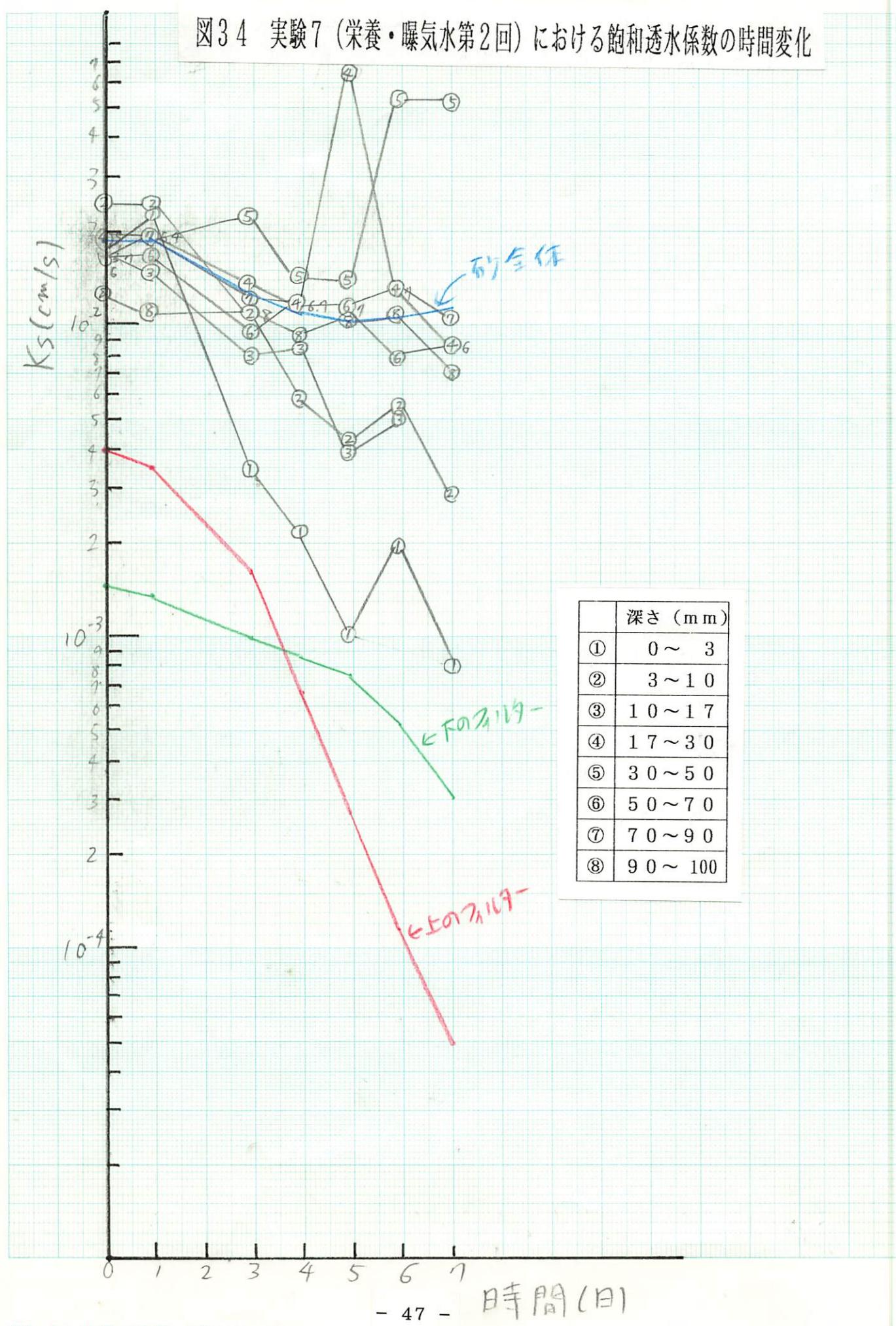
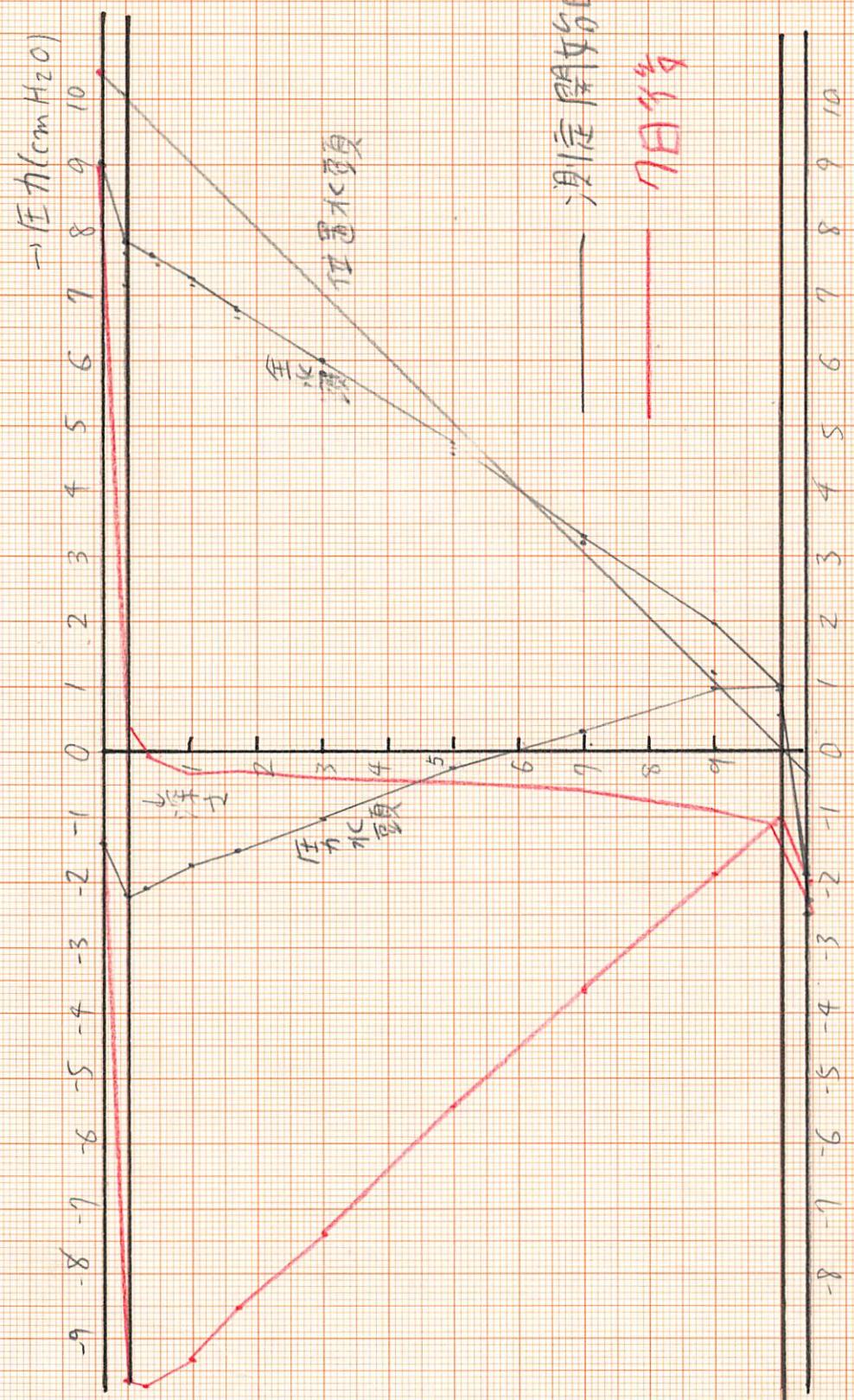


図35 実験7（栄養・曝気水第2回）における水頭分布図



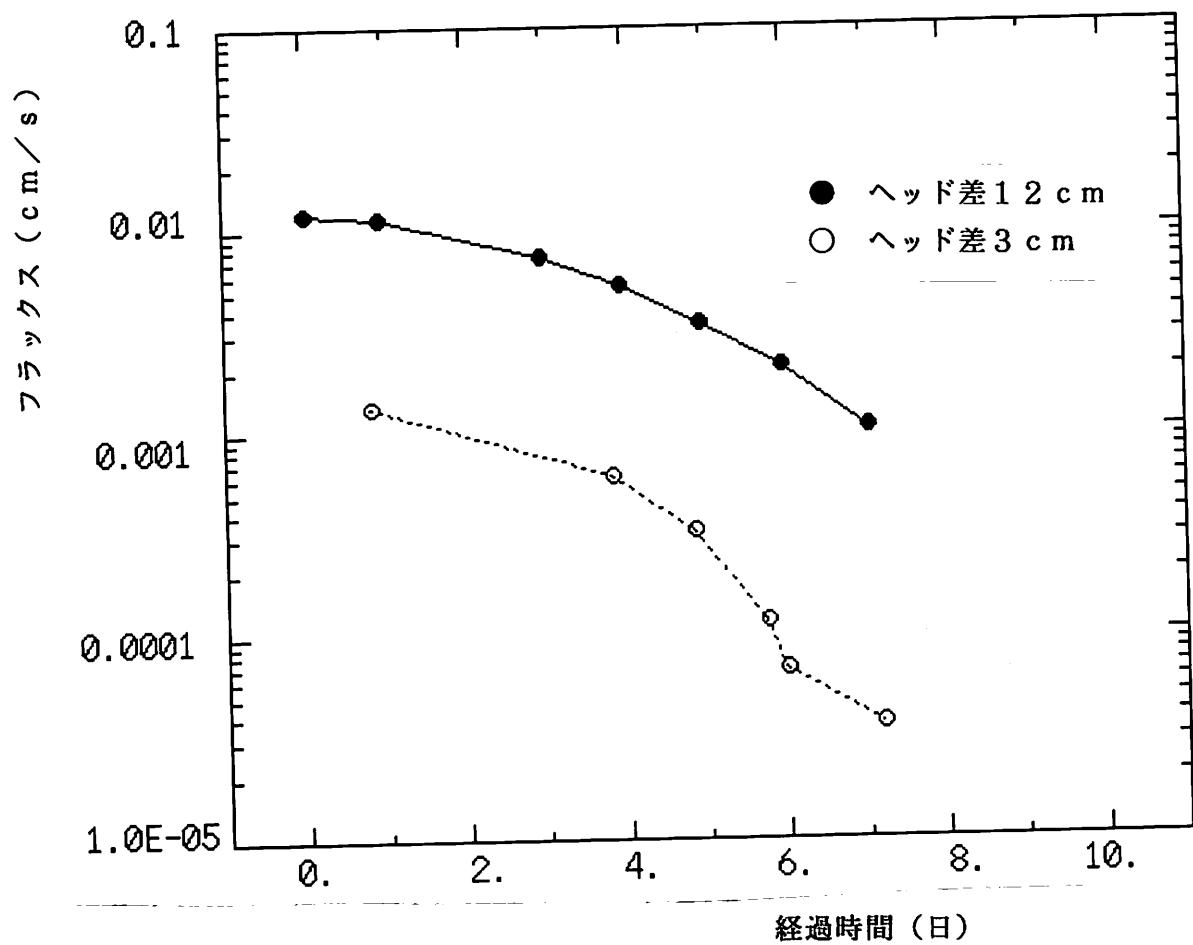


図36 実験7(栄養・曝気水第2回)におけるフラックスの時間変化

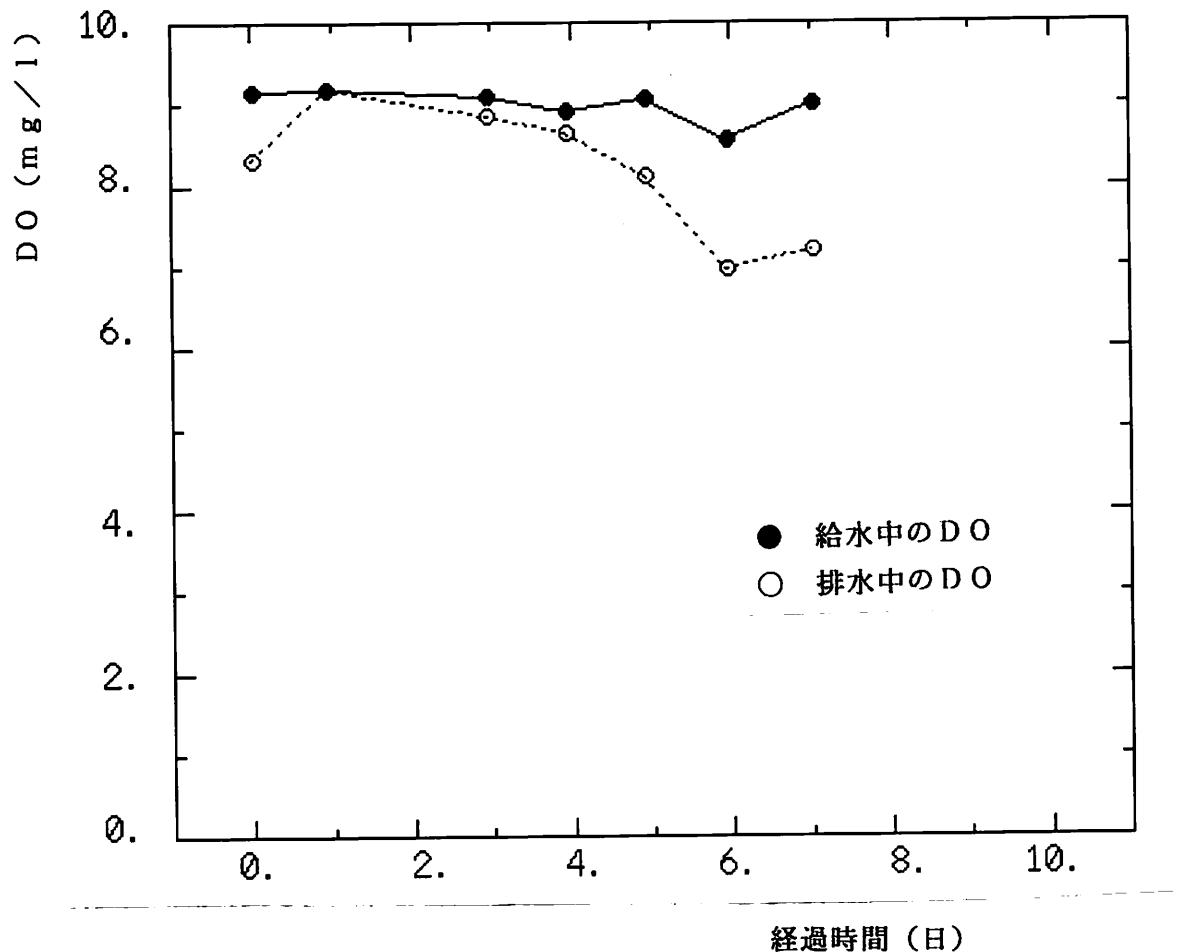


図37 実験7（栄養・曝気水第2回）におけるDOの時間変化

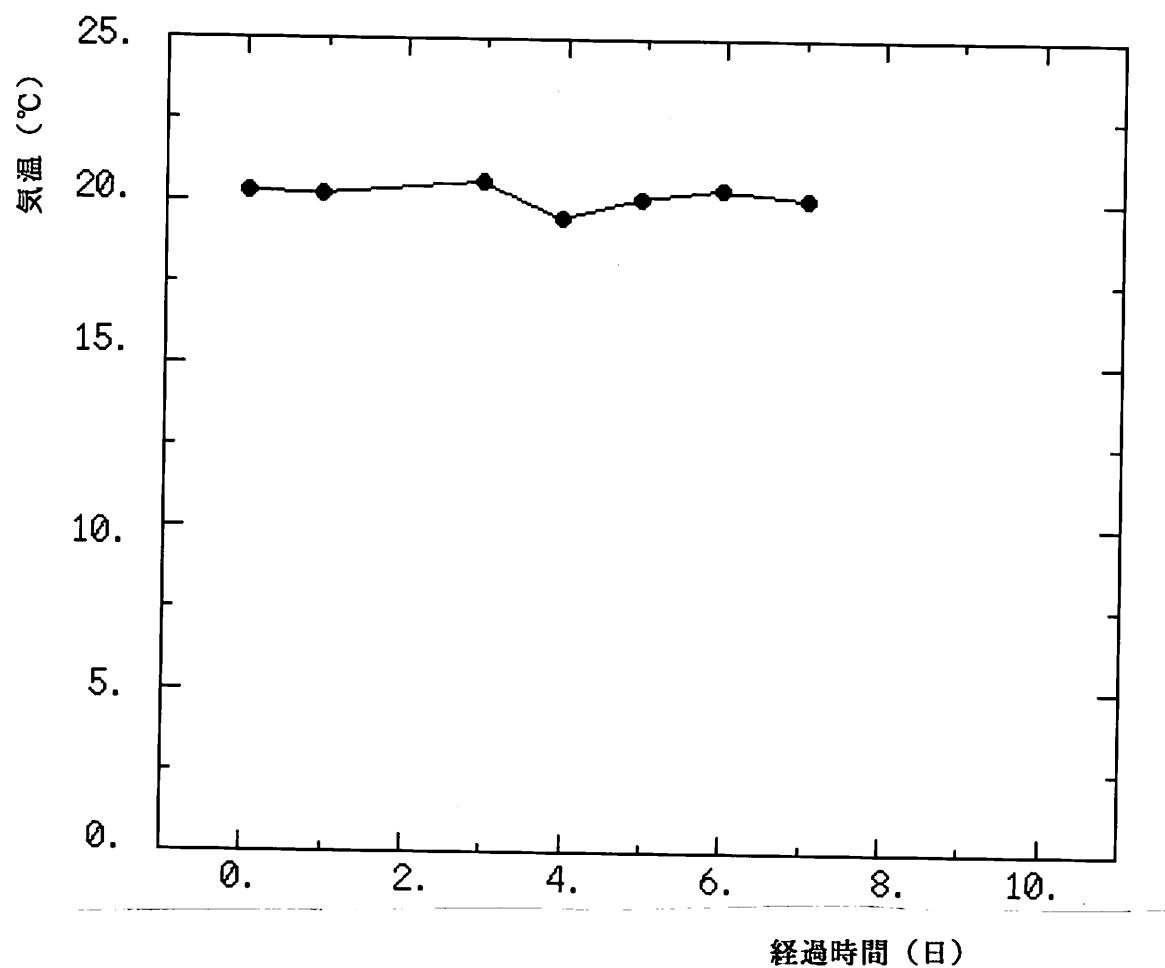


図38 実験7（栄養・曝気水第2回）における気温の時間変化

4. 考察

4-1 素菌水と栄養水の違い

図39は、殺菌水を流した実験（実験1、実験4、実験5）について、試料全体の飽和透水係数の変化を1つのグラフにまとめたものである。図40は、栄養水を流した実験（実験2、実験3、実験6、実験7）について、同じようにして試料全体の飽和透水係数の変化をグラフにしたものである。

図39に見られるように、殺菌水を流したときには、試料全体の飽和透水係数はまったく変化しなかった。一方、栄養水を流した時には、図40のように、試料全体の飽和透水係数が明らかに減少した。このことから、微生物の何らかの活動が、試料全体の飽和透水係数を下げていることが分かる。

図41は、殺菌水を流した実験について、上のフィルターの飽和透水係数の変化をグラフにしたものであり、ほとんど変化しなかった事が分かる。また、図42は、栄養水を流した実験について、上のフィルターの飽和透水係数の変化をグラフにしたものであり、図41と比較すれば、上のフィルターについても、微生物の活動が飽和透水係数を下げていることが分かる。

図43は、殺菌水を流した実験について、下のフィルターの飽和透水係数の変化をグラフにしたものであり、若干の時間的変動が見られるがほとんど変化していない。また、図44は、栄養水を流した実験について、下のフィルターの飽和透水係数の変化をグラフにしたものであり、いずれの場合にも、下のフィルターの飽和透水係数が微生物の活動によって低下したことが分かる。

4-2 砂の層別飽和透水係数の変化の違い

図45～図51は、それぞれの実験において、砂の層別飽和透水係数をグラフにしたものである。砂のコラムが8層に分かれていると、グラフが読み取りにくいため、各々の特徴に共通点があると思われる上層、中層、下層の3つの層に分けた。それぞれの層の深さは、グラフ中に示した通り、上層は深さ0～3cm、中層は深さ3～7cm、下層は深さ7～10cmである。ただし、実験1～4については、深さ10cmのヘッドを計測していないため、深さ7～9cmをもって下層とした。

図45～図47は、殺菌水についてのデータであるが、上層、中層、下層ともに、飽和透水係数は一定である。ただ、実験5（殺菌・脱気水）の4日目までは、飽和透水係数が変化しているが、これも、4日目以降は一定になっている。このように、殺菌水を流した

時には、砂の飽和透水係数は変化しなかった。

次に、図48～図51は、栄養水についてのデータである。すべての層について、飽和透水係数が減少していることが分かる。1つ1つの実験について、上層と中層と下層の変化の違いをまとめると、表4の様になる。

表4－栄養水を流した実験の、砂の層別飽和透水係数の変化の違い

実験	流した水	図	変化（減少）の度合い
2	栄養・曝気水第1回	48	下層> 中層> 上層
3	栄養・静置水	49	下層>>中層>>上層
6	栄養・脱気水	50	上層> 下層> 中層
7	栄養・曝気水第2回	51	上層>>下層> 中層

ここで、実験3の層による変化の違いの大きさが目立つ。上層、中層は他の栄養水を流した3つの実験と比べてそれほど違わないが、下層の変化が特に顕著である。実際に、すべての実験を通して、飽和透水係数が10分の1以下に低下したのは、実験3の下層のみである。しかも、測定開始後2日目という、かなり早い時期に飽和透水係数が急激に下がっている。実験を始める前の予測では、溶存酸素量が多ければ多いほど、微生物の活動が活発になって、クロッギングがより大きく起こると考えていたが、予測に反して、実験3、すなわち静置水を用いた実験で、曝気水を用いた実験よりも大きくクロッギングが起こったことは、なぜだろうか。溶存酸素を過飽和にすると、かえって微生物の活動が抑制されると考えれば、説明がつく。

また、実験2と実験7は、両方とも栄養・曝気水を流したものであって、設定した条件はまったく同じであるにもかかわらず、最もクロッギングが大きい層が、実験2では下層であるのに対して、実験7では上層であるという違いが出た。この違いがどうして生じたのかは分からぬが、少なくとも今回の実験で設定した条件よりももっと微妙な違いから生じているので、クロッギングが最も大きく起こる層は、微妙な条件によって決まることが分かった。しかも、栄養水を流した実験では、すべて、層によるクロッギングの程度が違う。すなわち、はじめは層による飽和透水係数の差はほとんどないが、時間がたつにつれて、その差が広がっている。それは、はじめに微生物の比較的多い層と少ない層ができる、水を流し続けると、微生物の多い層に、よりたくさん微生物が集まる傾向がある、そのため、微生物の密度勾配が、時間とともに増加すると考えれば、説明できる。

4-3 フィルターの飽和透水係数

図52～図58は、実験ごとのフィルターの飽和透水係数の変化をあらわしたグラフである。その中で、図52～図54は殺菌水を流した実験についてであり、図55～図58は栄養水を流した実験についてである。4-1で述べたように、殺菌水を流したときには、フィルターの飽和透水係数は上下ともほぼ一定であるが、栄養水を流したときには、上下ともにフィルターの飽和透水係数が減少した。栄養水について、フィルターの飽和透水係数の変化の度合いを比較したものが、表5である。

表5－栄養水を流した実験の、上下のフィルターの飽和透水係数の変化の違い

実験	流した水	図	変化（減少）の度合い
2	栄養・曝気水第1回	55	上>下
3	栄養・静置水	56	下>>上
6	栄養・脱気水	57	上>下
7	栄養・曝気水第2回	58	上>下

表4と対比すると、実験3、6、7では、クロッギングが大きく起こるフィルターに近い砂の層の方が、クロッギングを大きく起こしている。フィルターと砂とは接触しているのだから、クロッギングの度合いに関係があるのが自然である。しかし、実験2を見ると、上のフィルターの方が下のフィルターよりもクロッギングが大きいにも関わらず、砂の層別に比較すると、下層が最もクロッギングを起こしている。したがって、必ずしも、クロッギングの大きいフィルターに近い砂の層の方が、クロッギングが大きいとは言えない。

栄養水を流した実験では、砂よりもフィルターの飽和透水係数のほうがはるかに小さくなつたため、たとえば図14を見れば分かるように、全水頭勾配が、フィルターの部分で大きくなり、砂の部分で小さくなる。そのために、砂の各層のヘッド差が小さくなり、マノメーターの読みの差が小さくなつて、測定の精度が落ちる。G2という、かなり目の粗いフィルターを使用しても、このような結果になつた。この問題を解決するためには、透水性の極端に良いフィルターを使用するか、試料を砂から土に変えて、試料の透水性を低くするか、どちらかが必要である。

4-4 酸素の消費

(1) 曝気水

殺菌・曝気水のDOの時間変化(図27)を見ると、流入時には8.5～9.0mg/lであるが、排出時には8.0より少し上と、DOの値が減っている。ところが、栄養・曝気水第2回のDOの時間変化(図37)を見ると、流入時は図27とあまり変わりないが、

排出時は、始めは流入時のDOと同じ程度の値なのが、時間とともに減少し、6日目になると、DOが 7 mg/l 程度にまで下がっている。このときのDOの減少は 2 mg/l である。栄養・曝気水第1回のDOの時間変化(図11)を見ると、データは最後しかないが、やはり最後には流入時に比べて排出時のDOが 2 mg/l 下がっている。

まとめると、流入時と排出時のDOを比較すると、殺菌水では、わずかに増加しているのに対して、栄養水では減少している。このことから明らかに、栄養水を流したときには、試料の中で好気的微生物が活動している。

(2) 脱気水

殺菌・脱気水第1回はDOの計測はしていないので、殺菌・脱気水第2回のDOの時間変化(図22)を見ると、流入時のDOは 6 mg/l 前後であるが、排出時には、実験開始時は 7 mg/l だったのが次第に増加し、2日後には、 8 mg/l になり、それから後はほぼ一定の値をとっている。それに対して、栄養・脱気水では、図32を見ると、排出時のDOが、測定開始時は 8 mg/l 近くだったのが、4日後には、 5 mg/l に減少し、その後一回増加したものの、再び減少し、7日後には、 5 mg/l に戻っている。

したがって、栄養水では、水を脱気しているにも関わらず、試料の中で酸素を消費しているので、好気的微生物が活動している。DO 6 mg/l 程度では、まだ好気的微生物の活動が優位であると思われる。

DOの計測値は、脱気デシケーターで脱気した時には 3 mg/l 程度なのが、水温を 20°C にするために一晩静置した後に計測すると 4 mg/l になる。それを、マリオット管の中に給水してから、マリオット管の中で計ると、 6 mg/l になる。マリオット管に水を入れるときには、なるべく空気が入らないように、壁を伝わらせて静かにいれているが、それでも空気が入ってしまった。

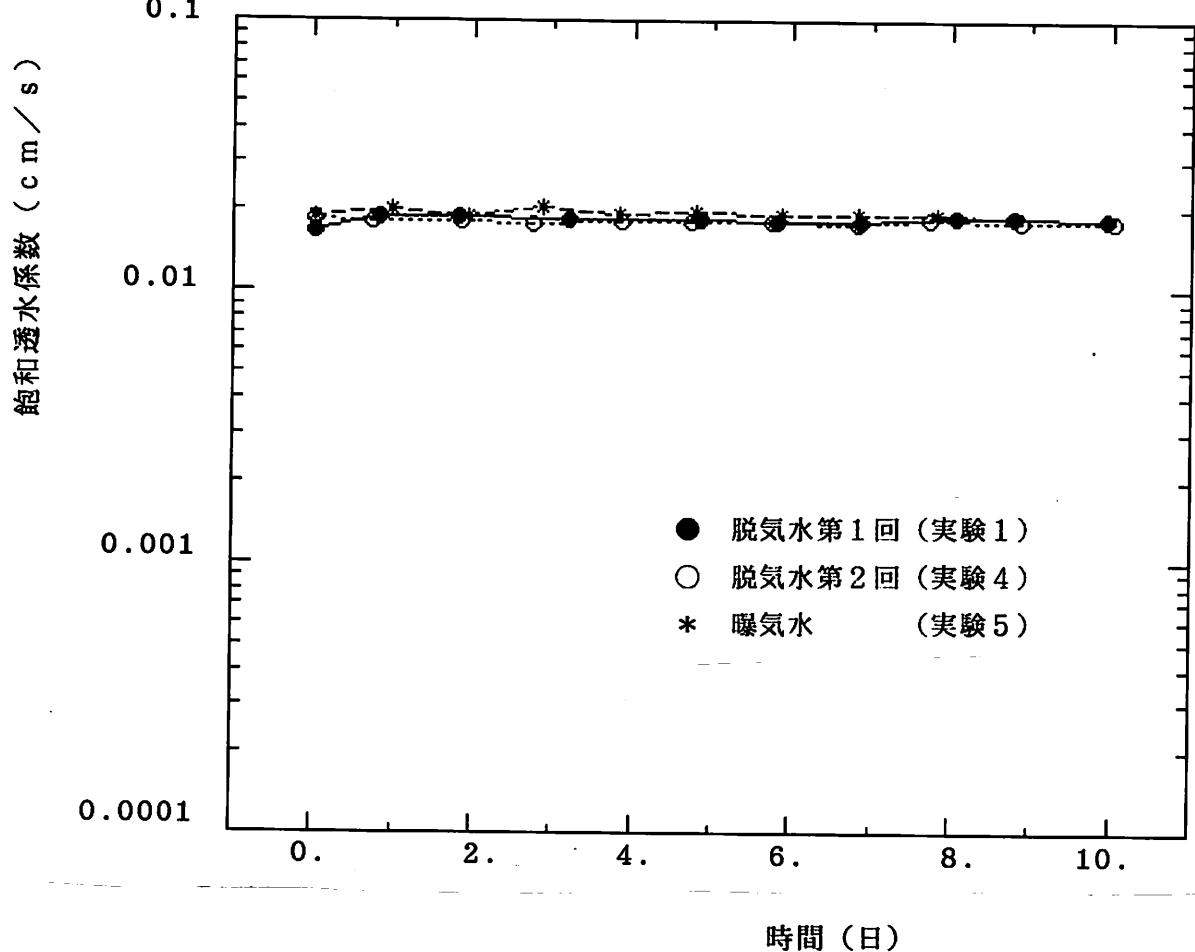


図39 細菌水を流した実験の試料全体の飽和透水係数の変化

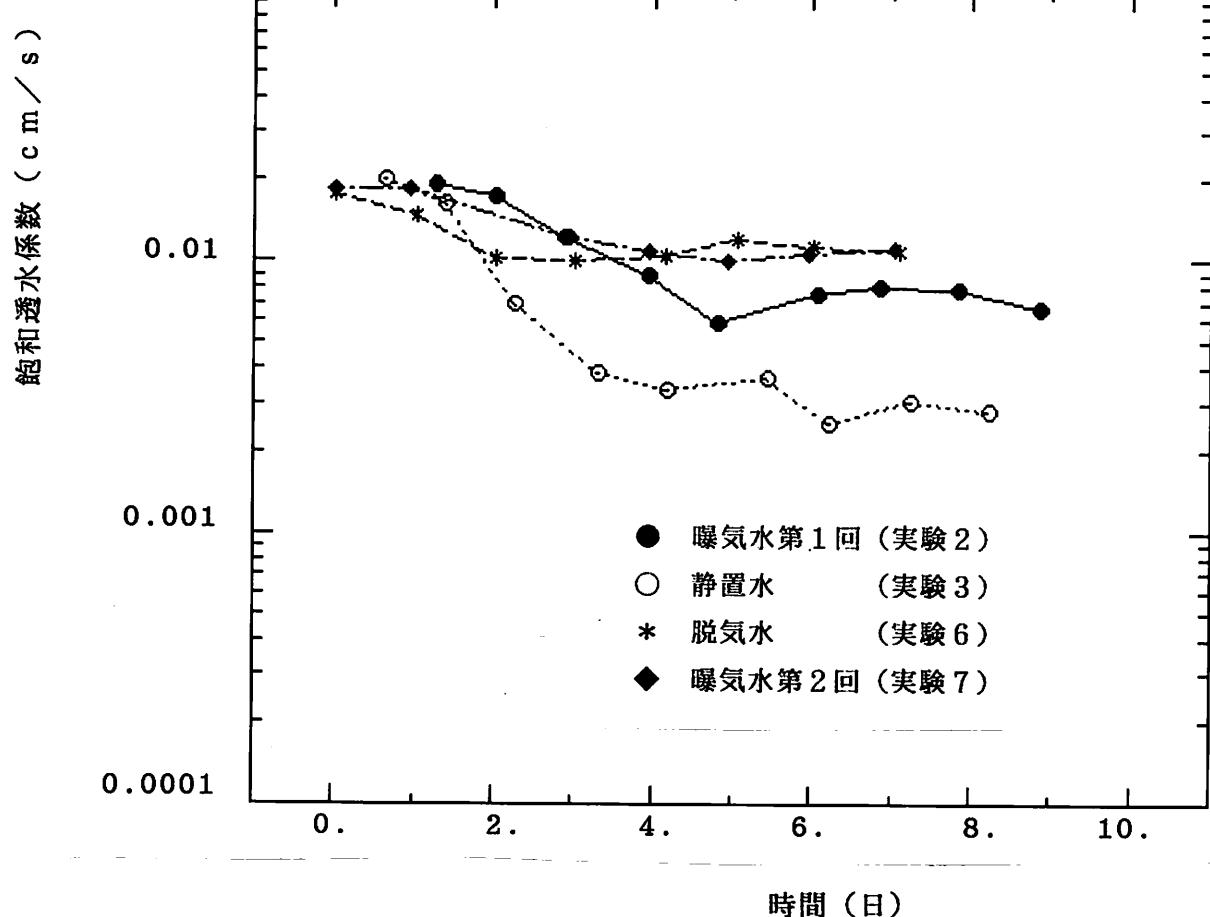


図40 栄養水を流した実験の試料全体の飽和透水係数の変化

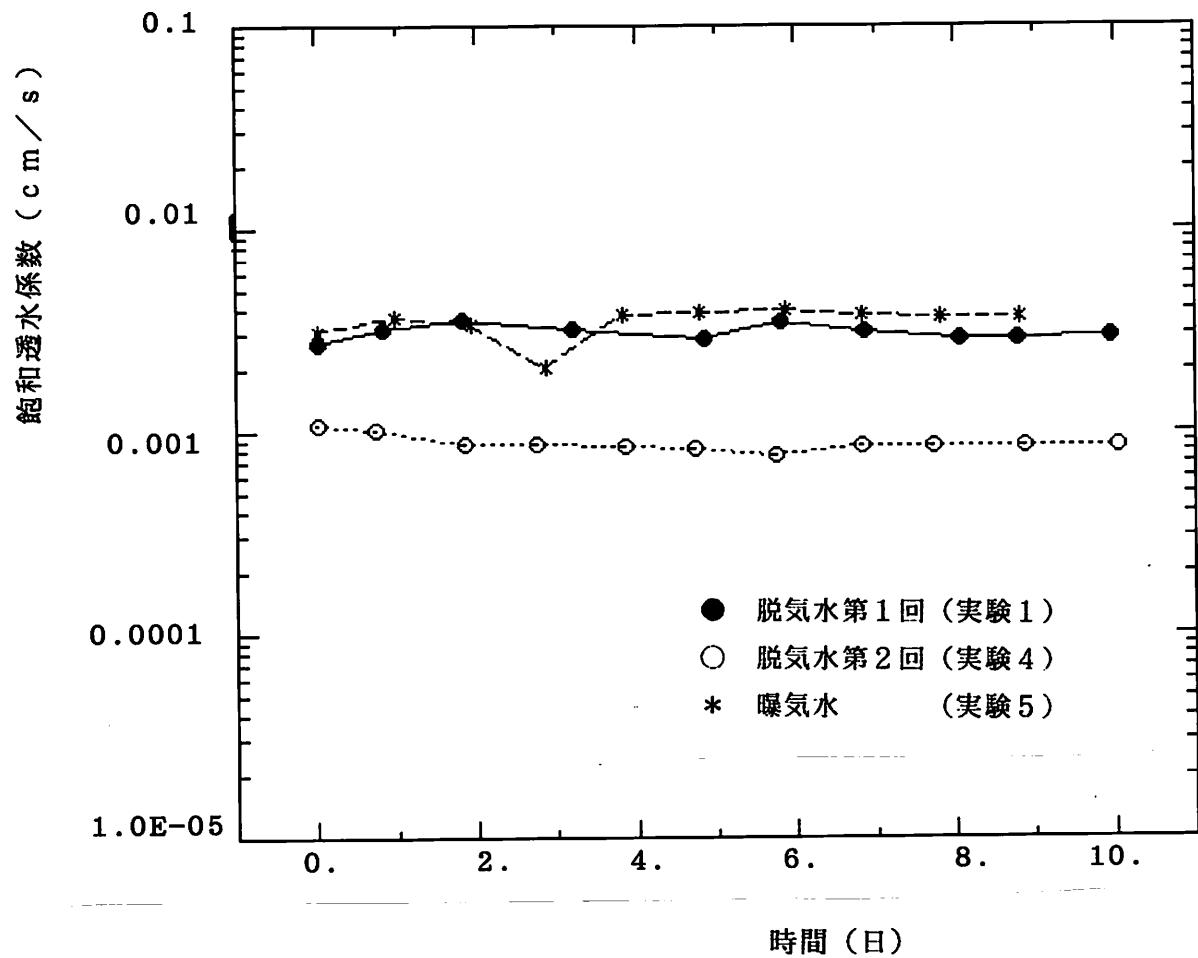
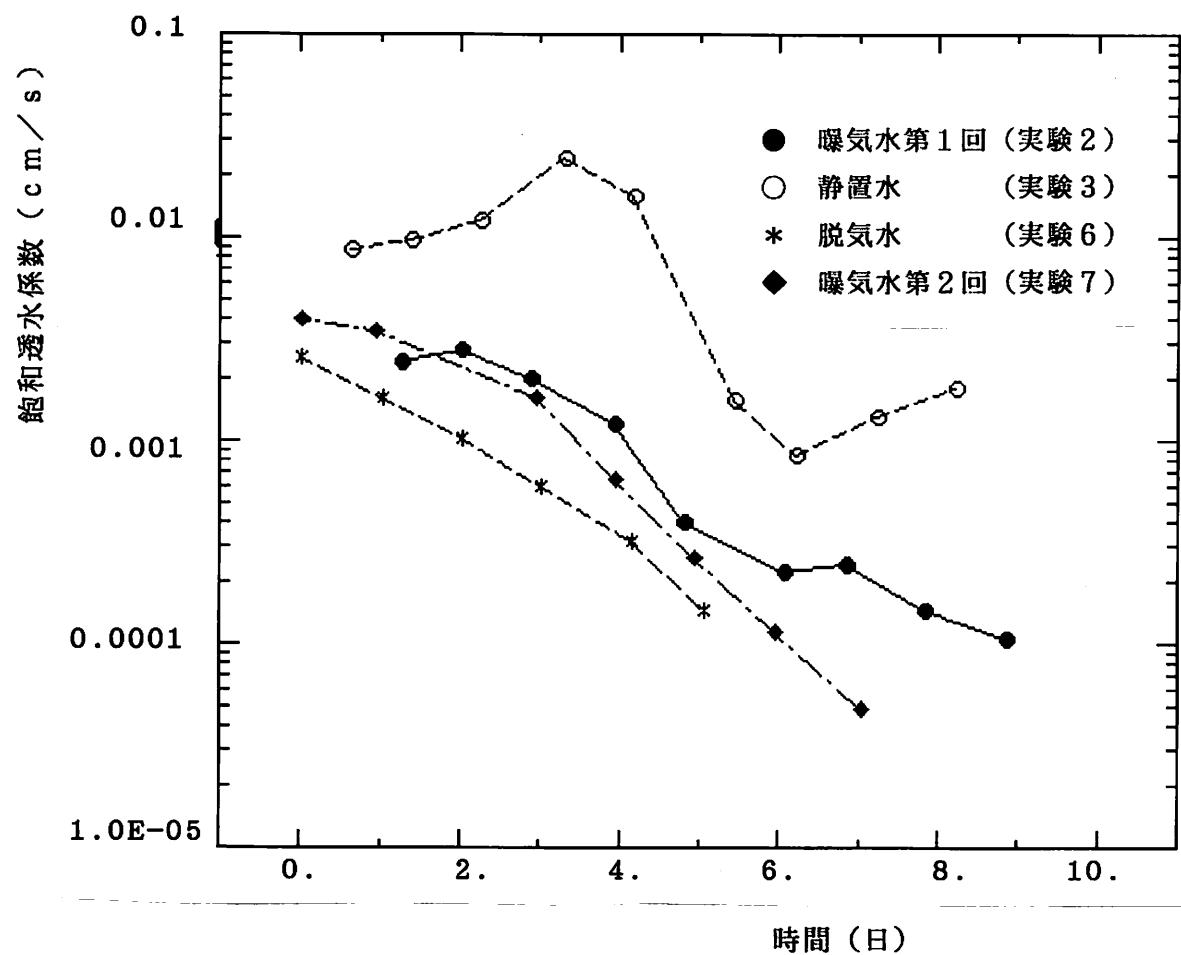


図41 殺菌水を流した実験の上のフィルターの飽和透水係数の変化



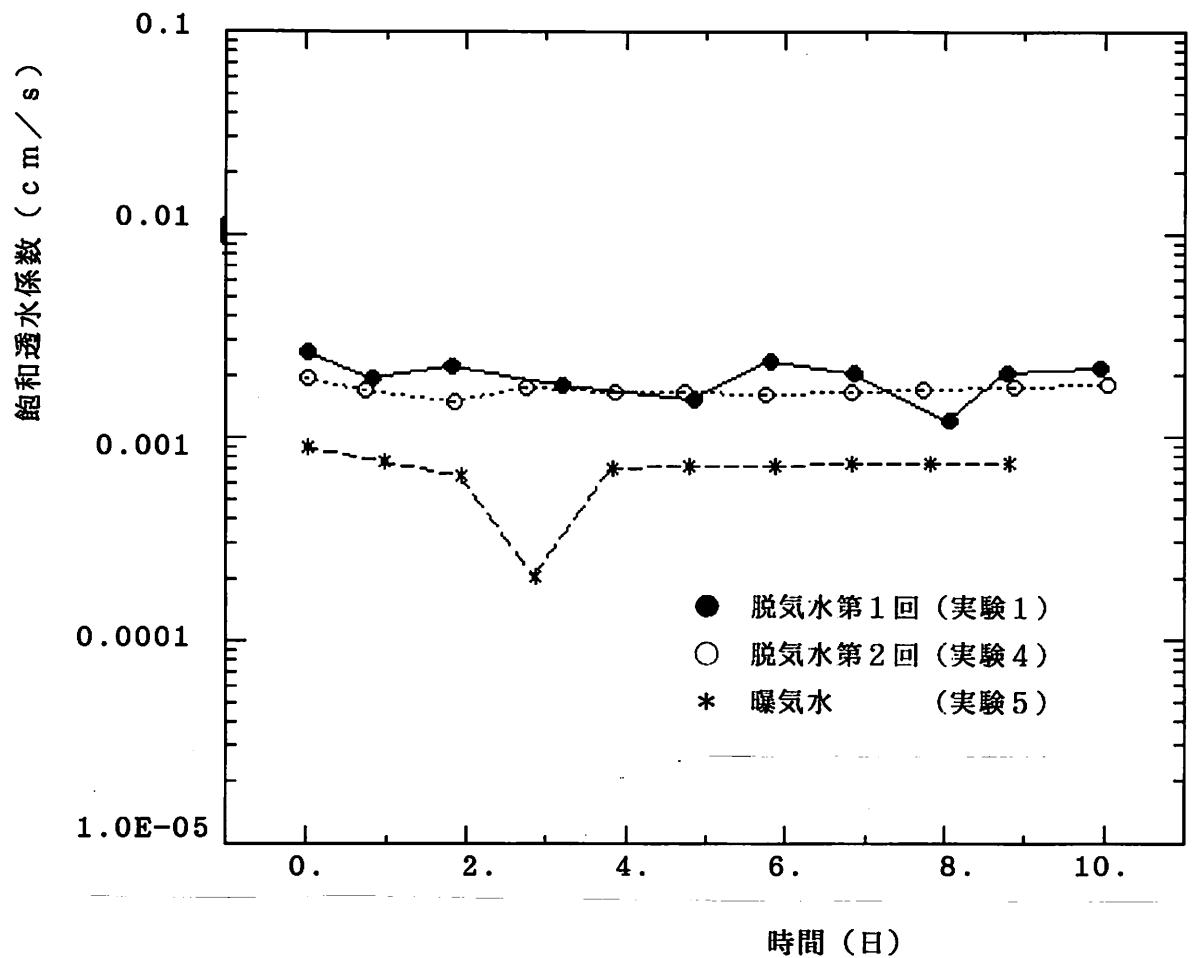
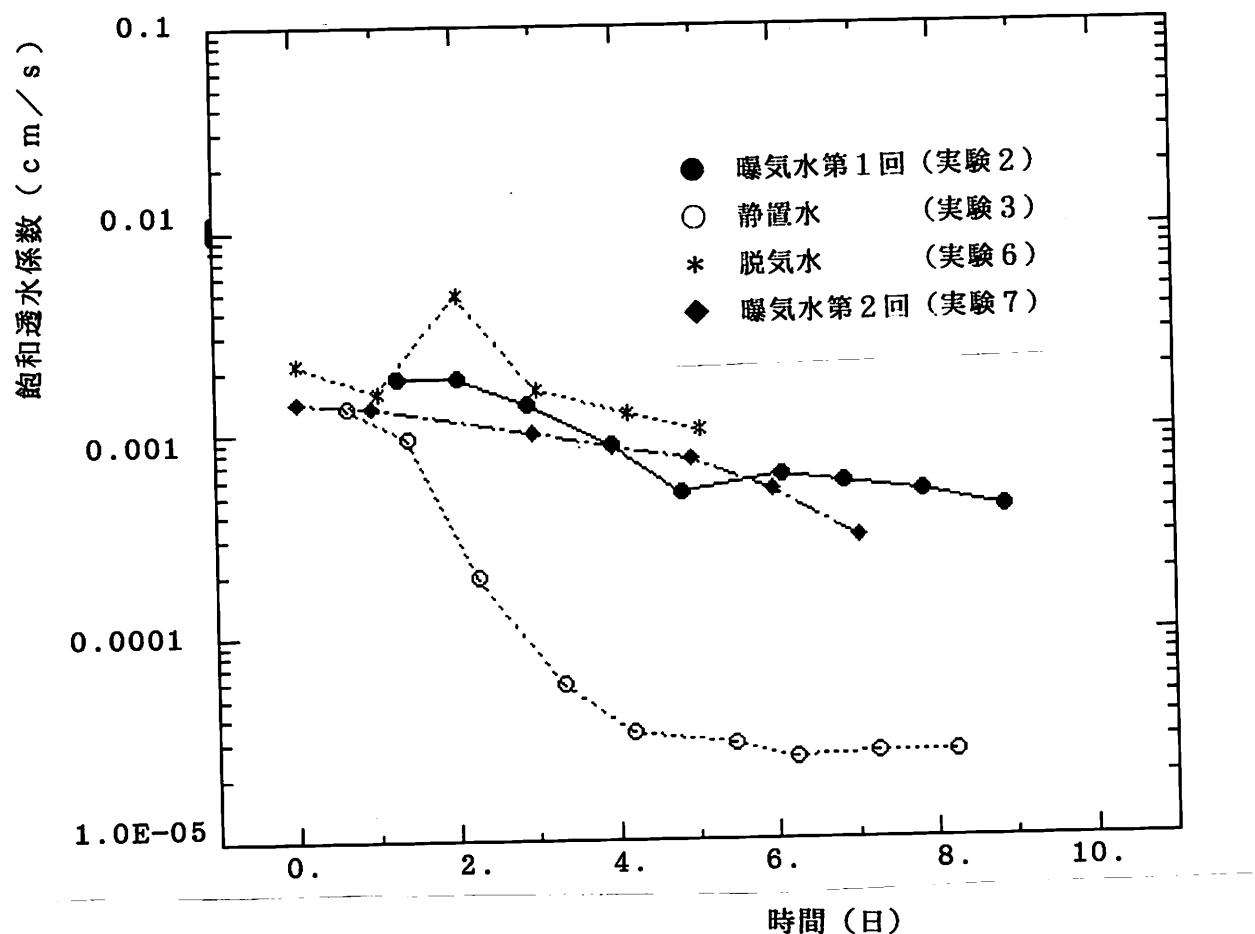


図43 細菌水を流した実験の下のフィルターの飽和透水係数の変化



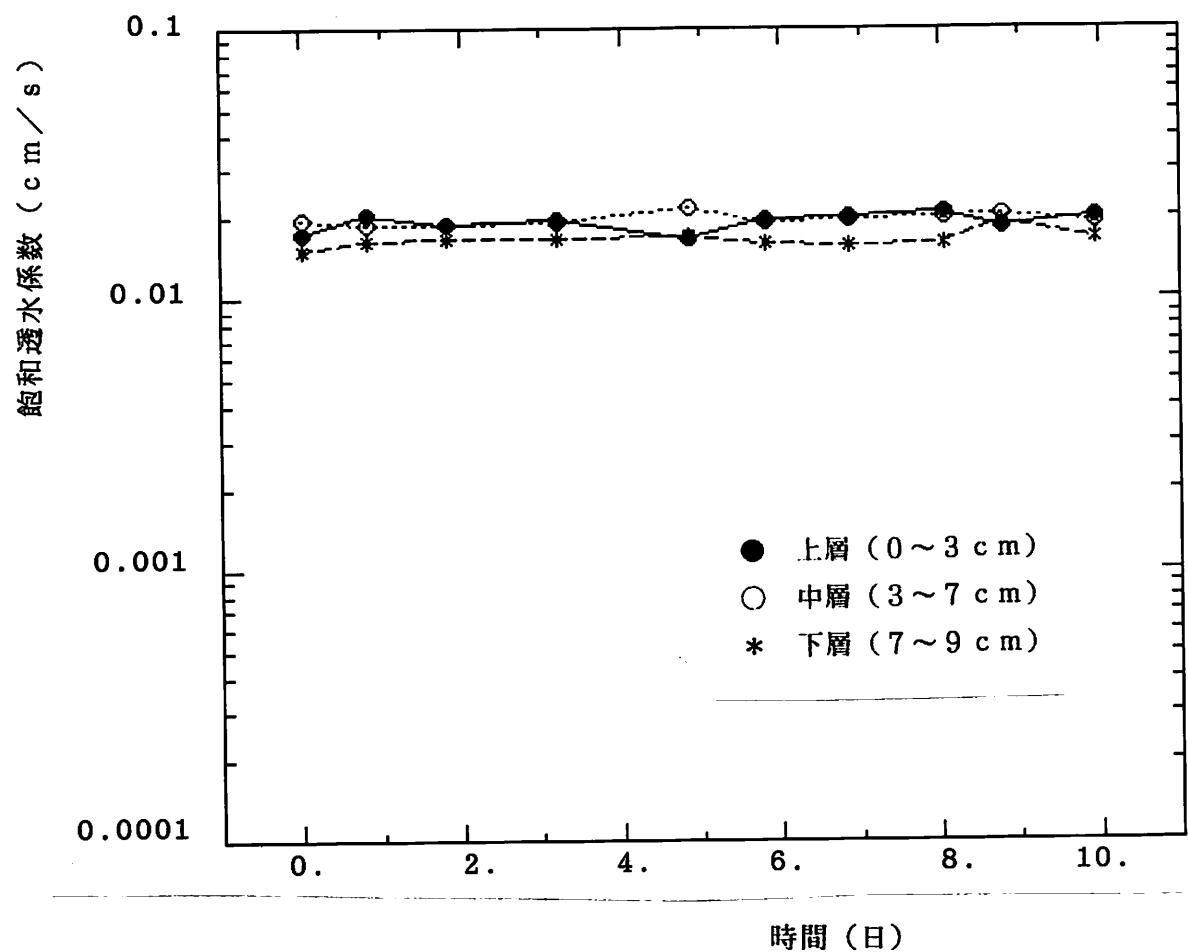


図4.5 実験1(殺菌・脱気水第1回)における砂の層別飽和透水係数の変化

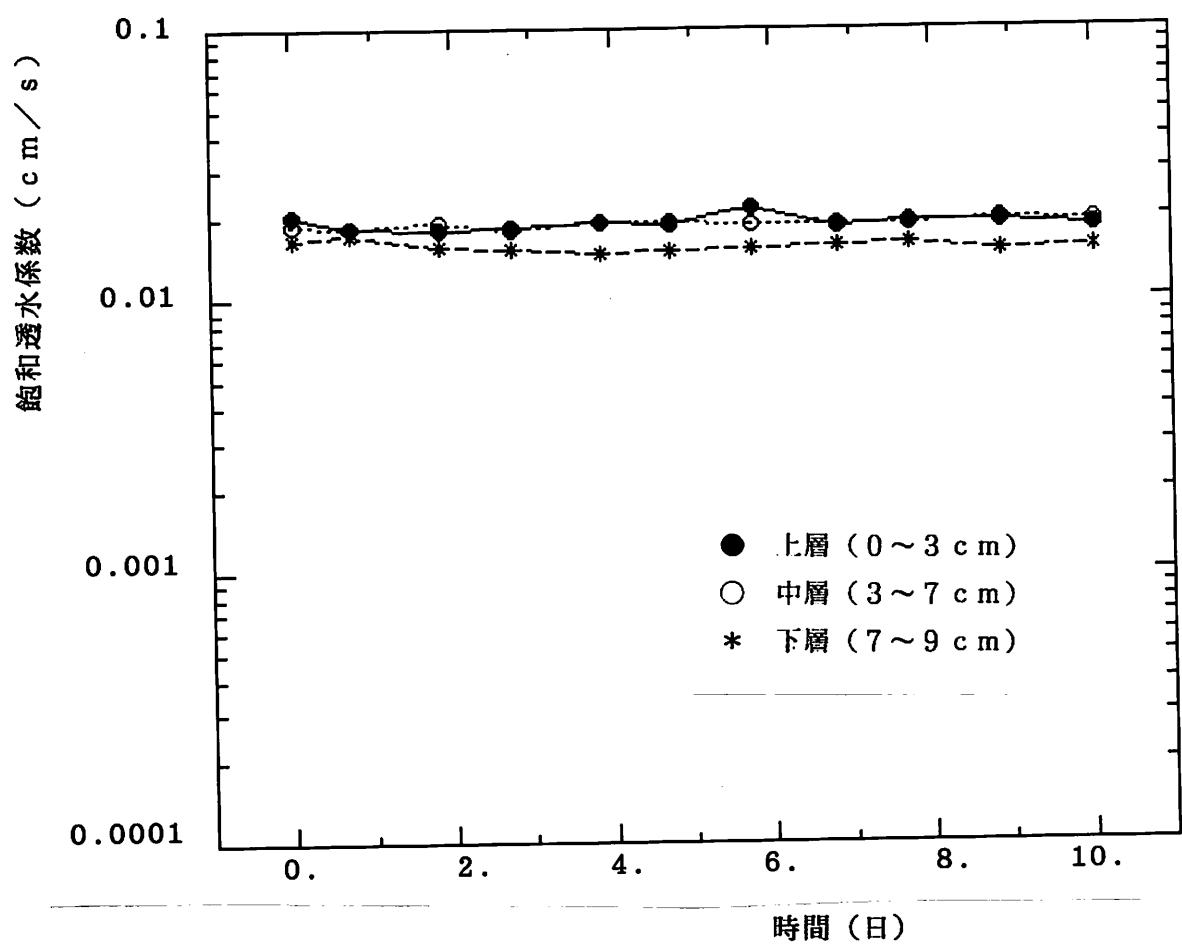


図4-6 実験4(殺菌・脱気水第2回)における砂の層別飽和透水係数の変化

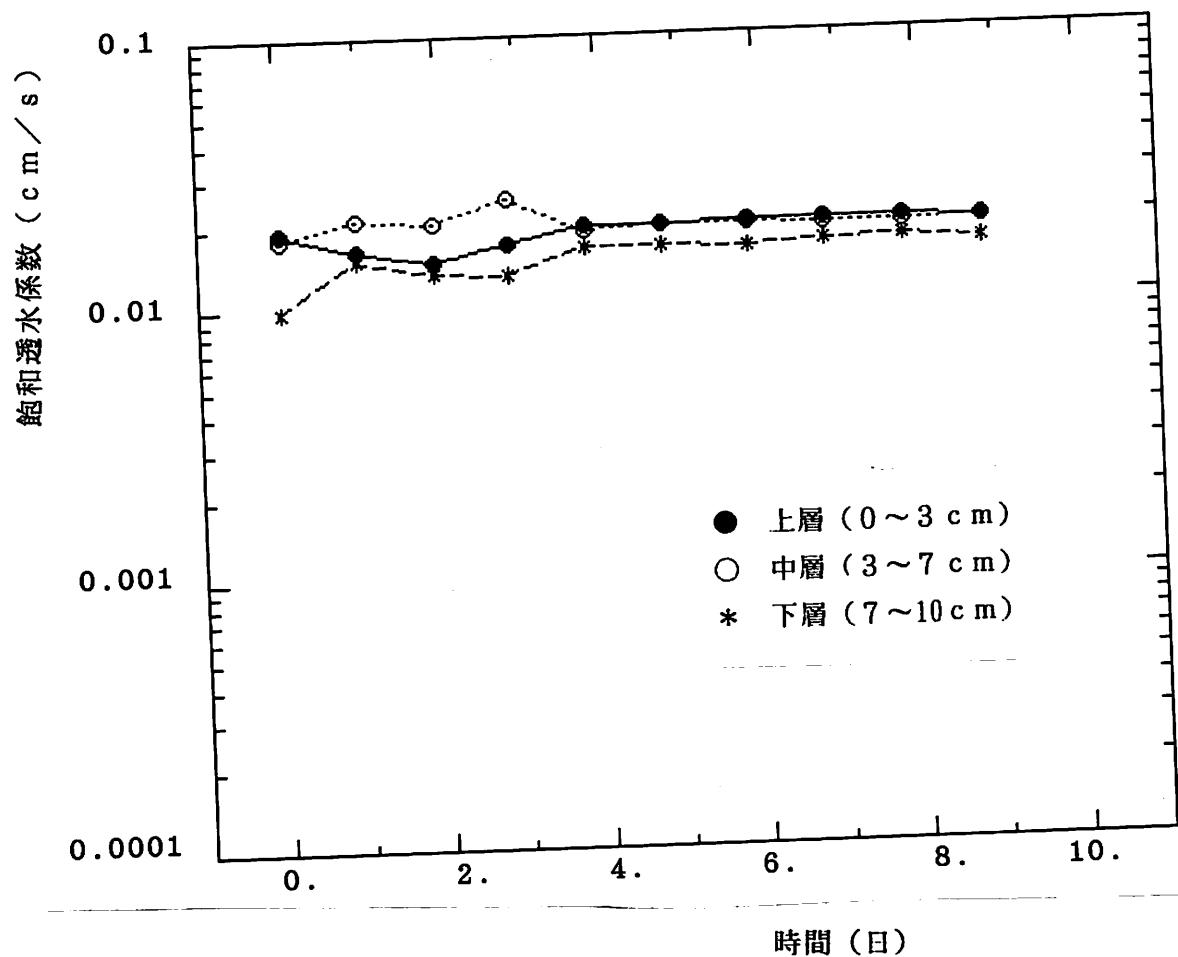


図47 実験5(殺菌・曝気水)における砂の層別飽和透水係数の変化

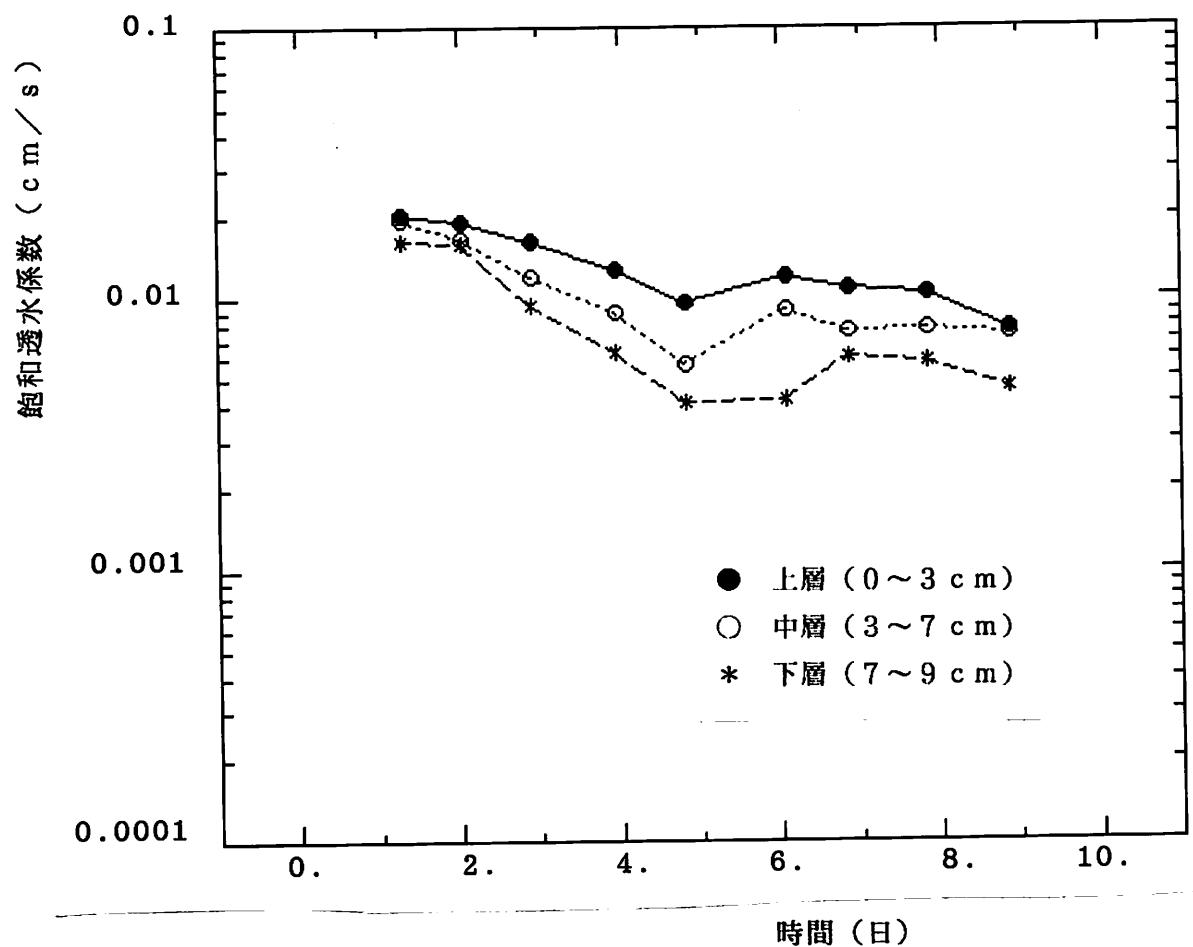


図4-8 実験2(栄養・曝気水第1回)における砂の層別飽和透水係数の変化

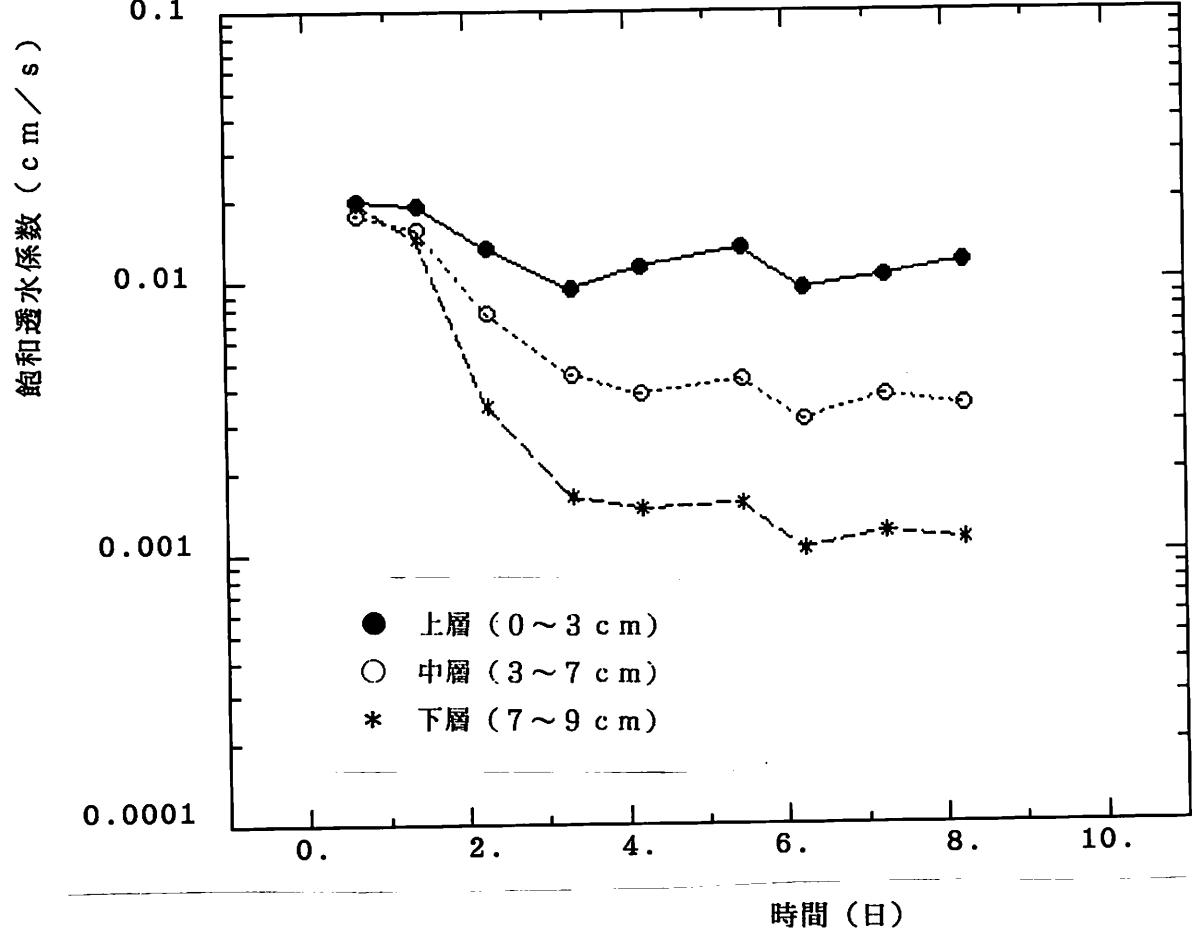


図49 実験3(栄養・静置水)における砂の層別飽和透水係数の変化

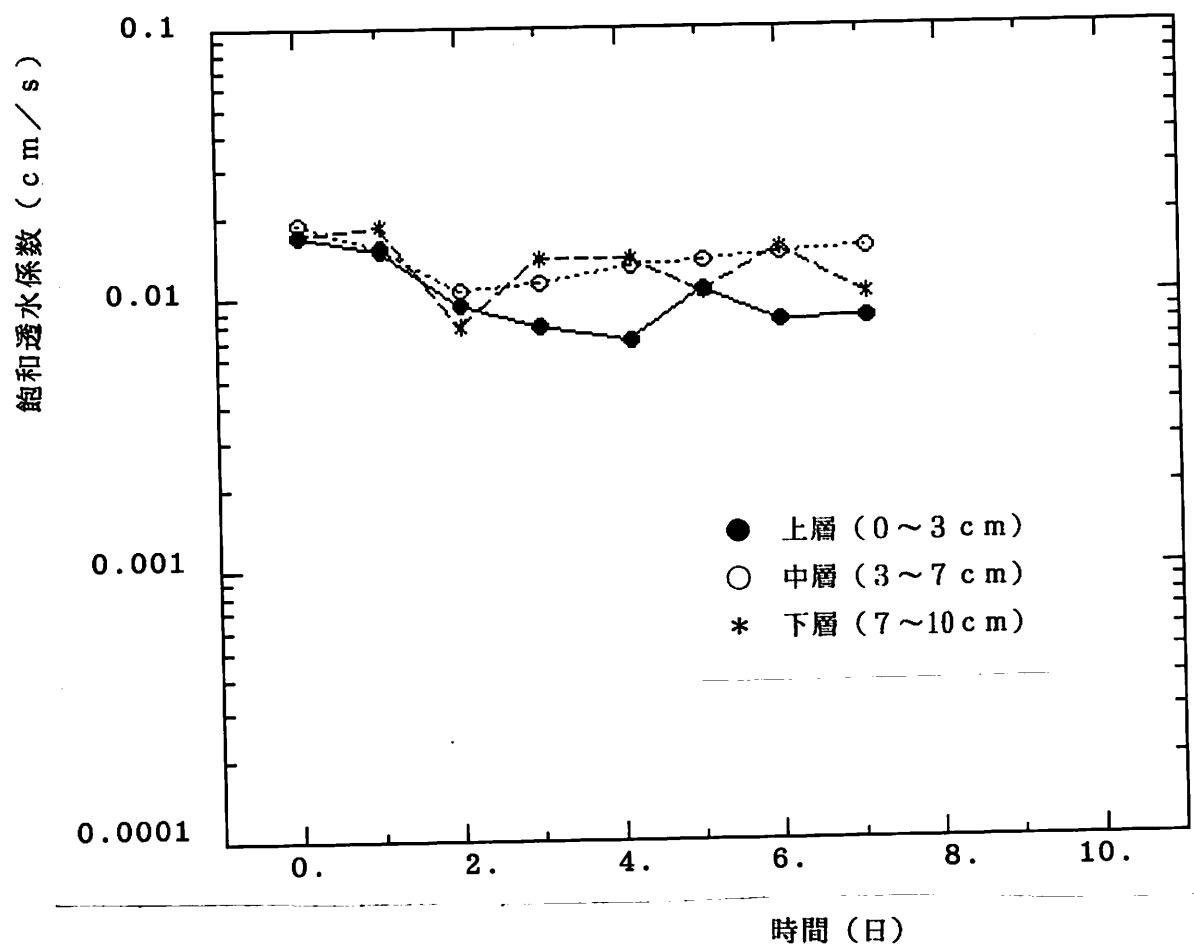


図50 実験6(栄養・脱気水)における砂の層別飽和透水係数の変化

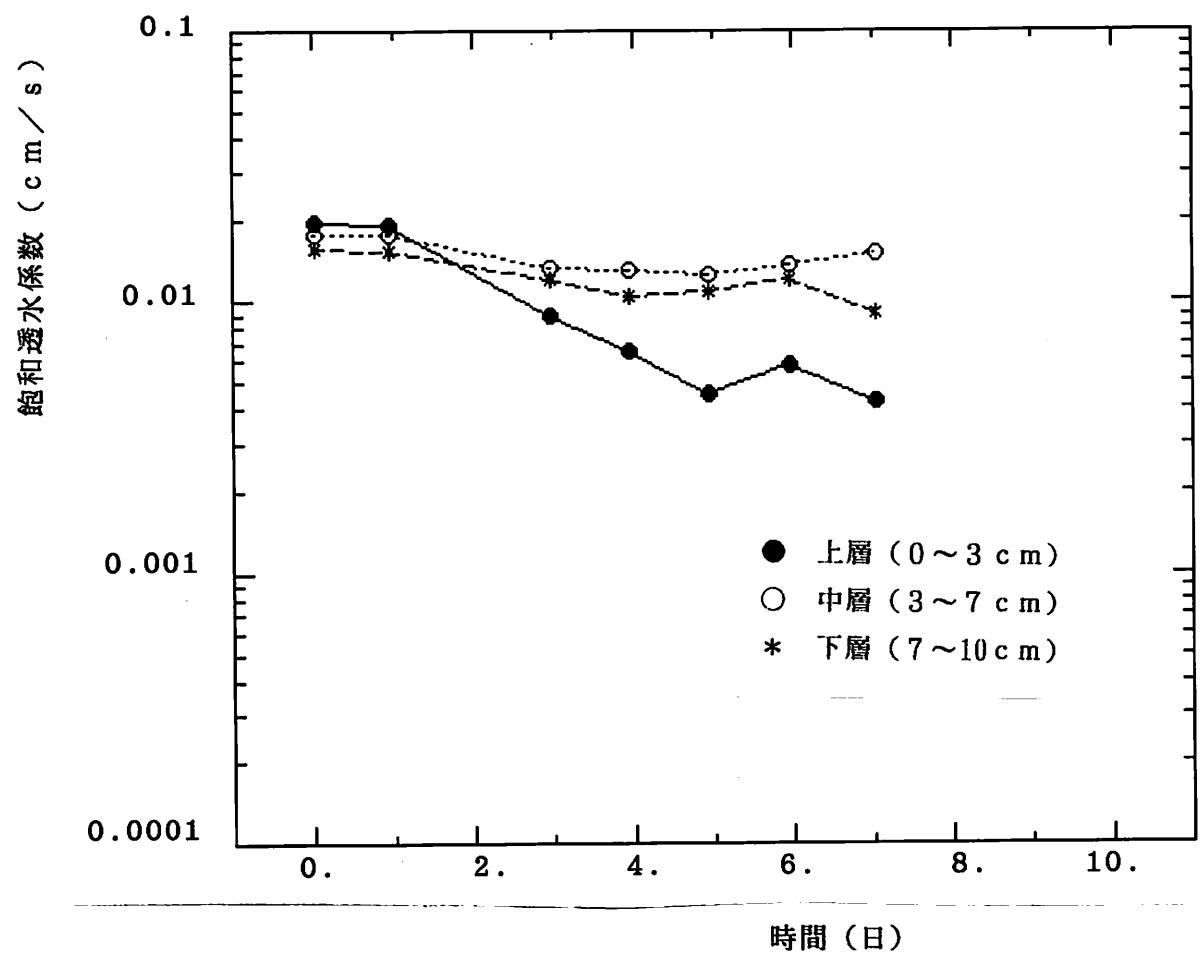


図51 実験7（栄養・曝気水第2回）における砂の層別飽和透水係数の変化

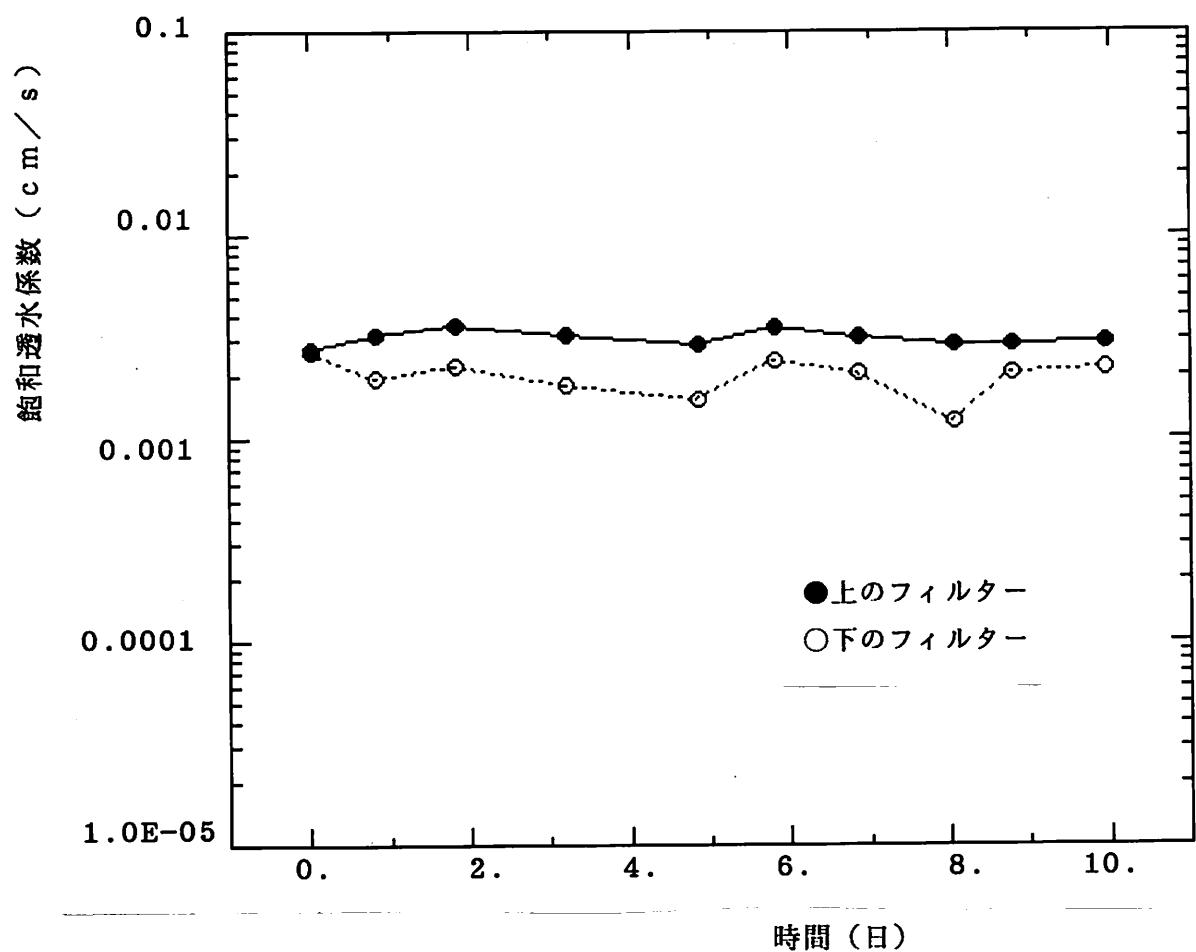


図52 実験1(殺菌・脱気水第1回)におけるフィルターの飽和透水係数の変化

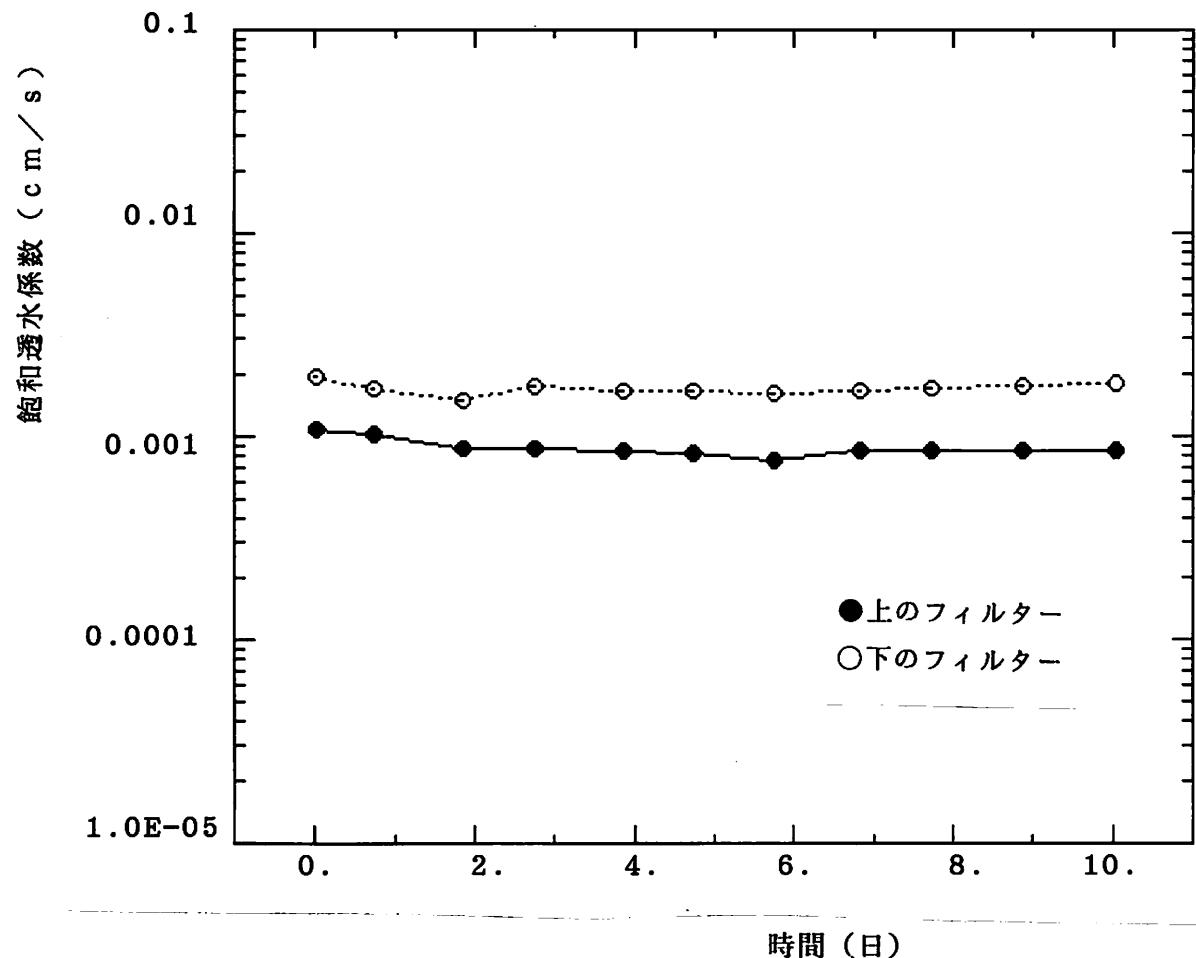


図53 実験4(殺菌・脱気水第2回)におけるフィルターの飽和透水係数の変化

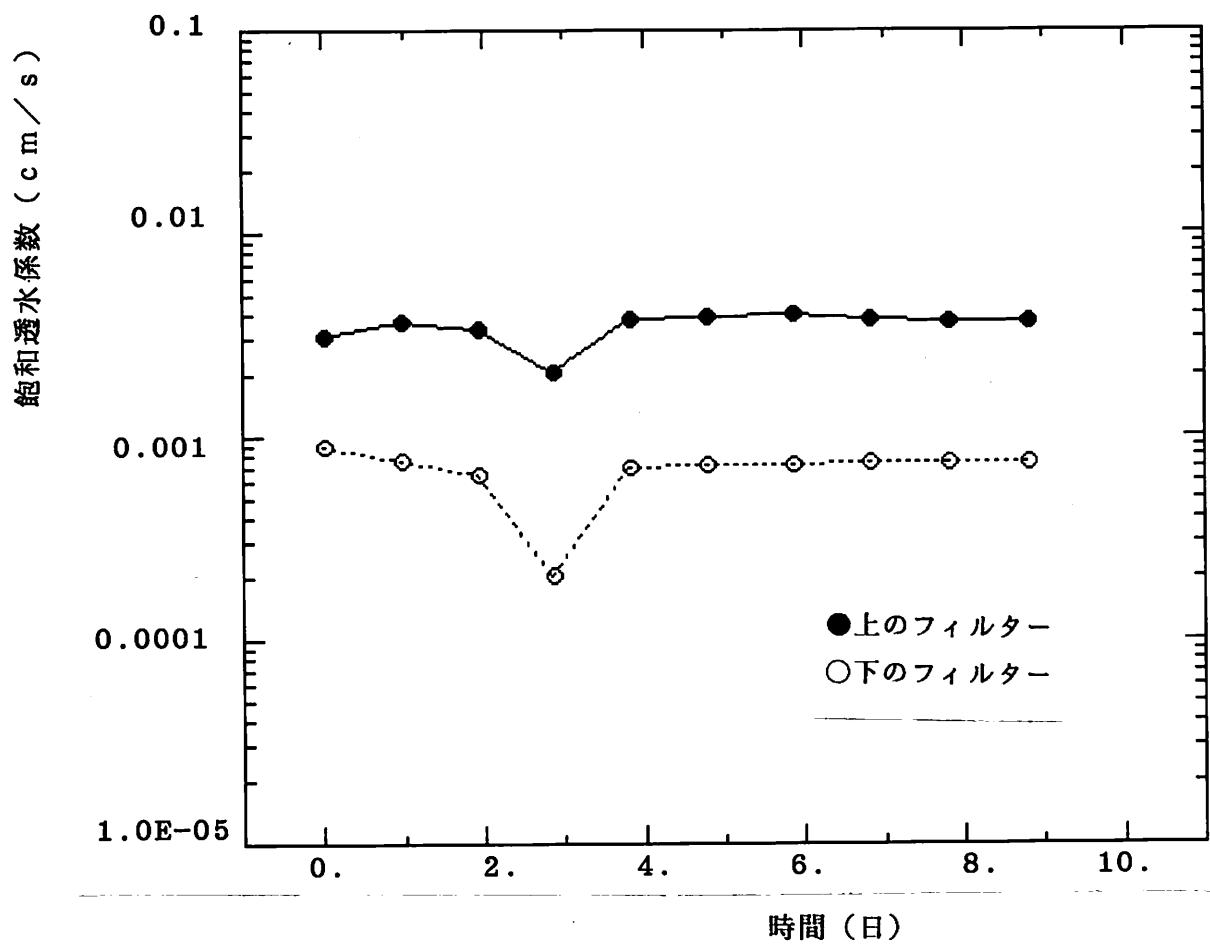


図54 実験5(殺菌・曝気水)におけるフィルターの飽和透水係数の変化

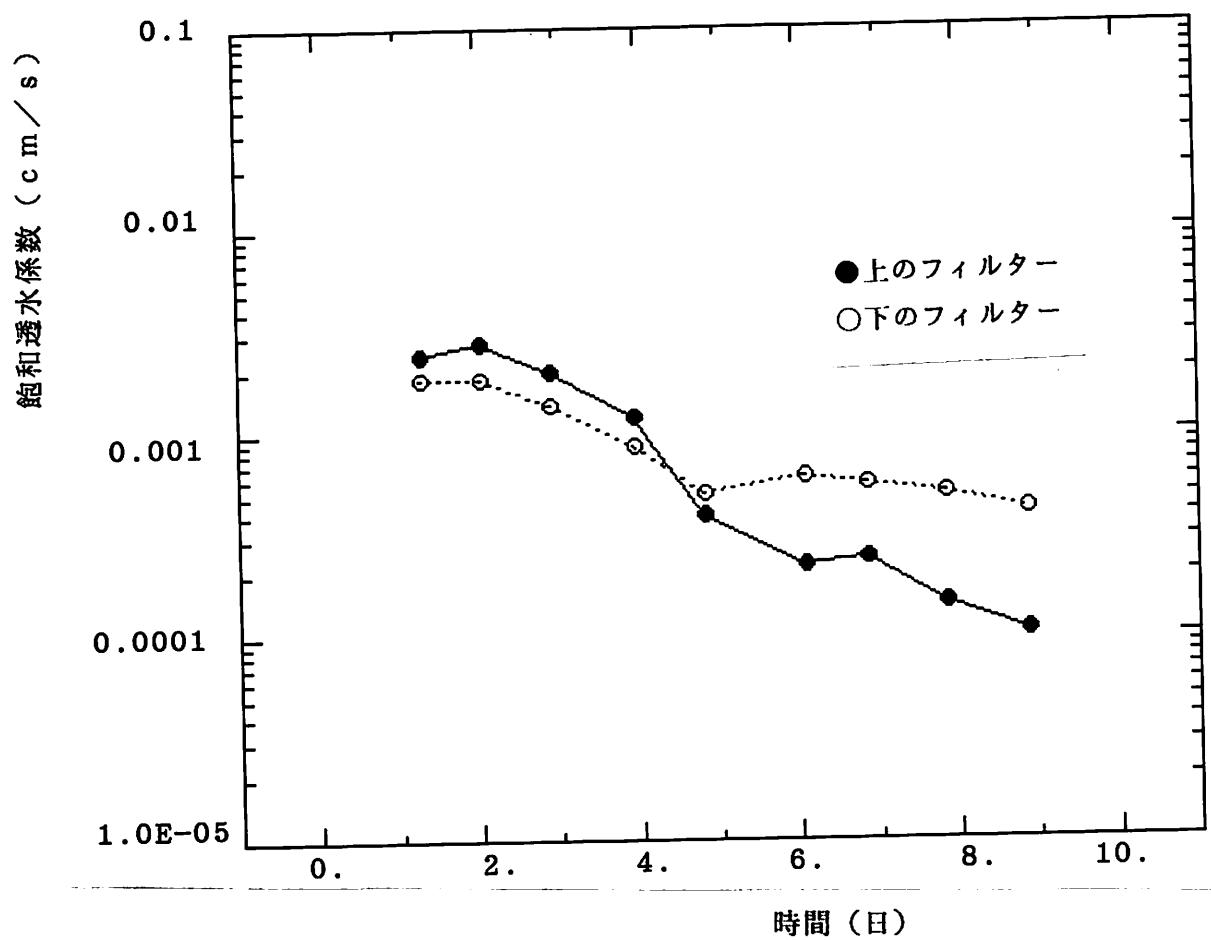


図55 実験2(栄養・曝気水第1回)におけるフィルターの飽和透水係数の変化

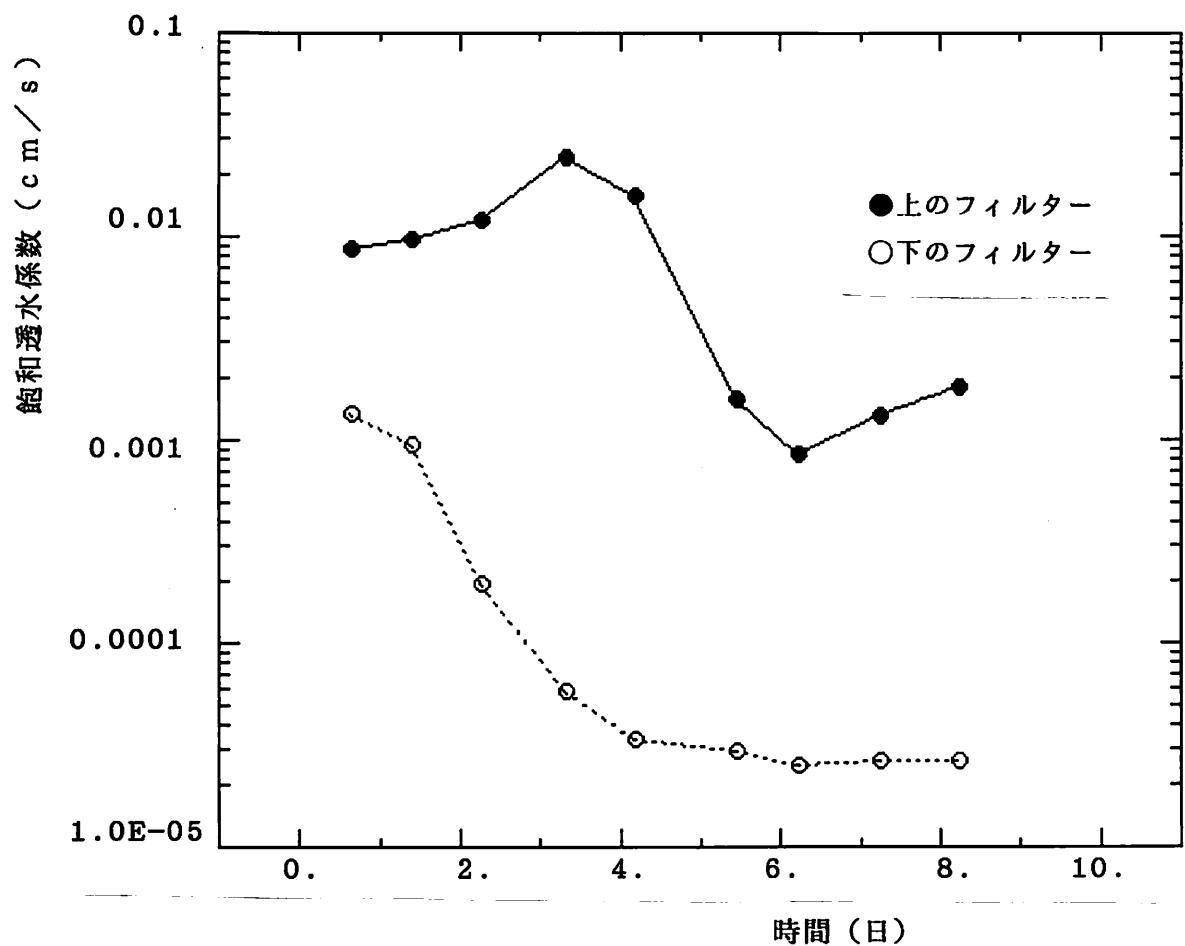


図56 実験3(栄養・静置水)におけるフィルターの飽和透水係数の変化

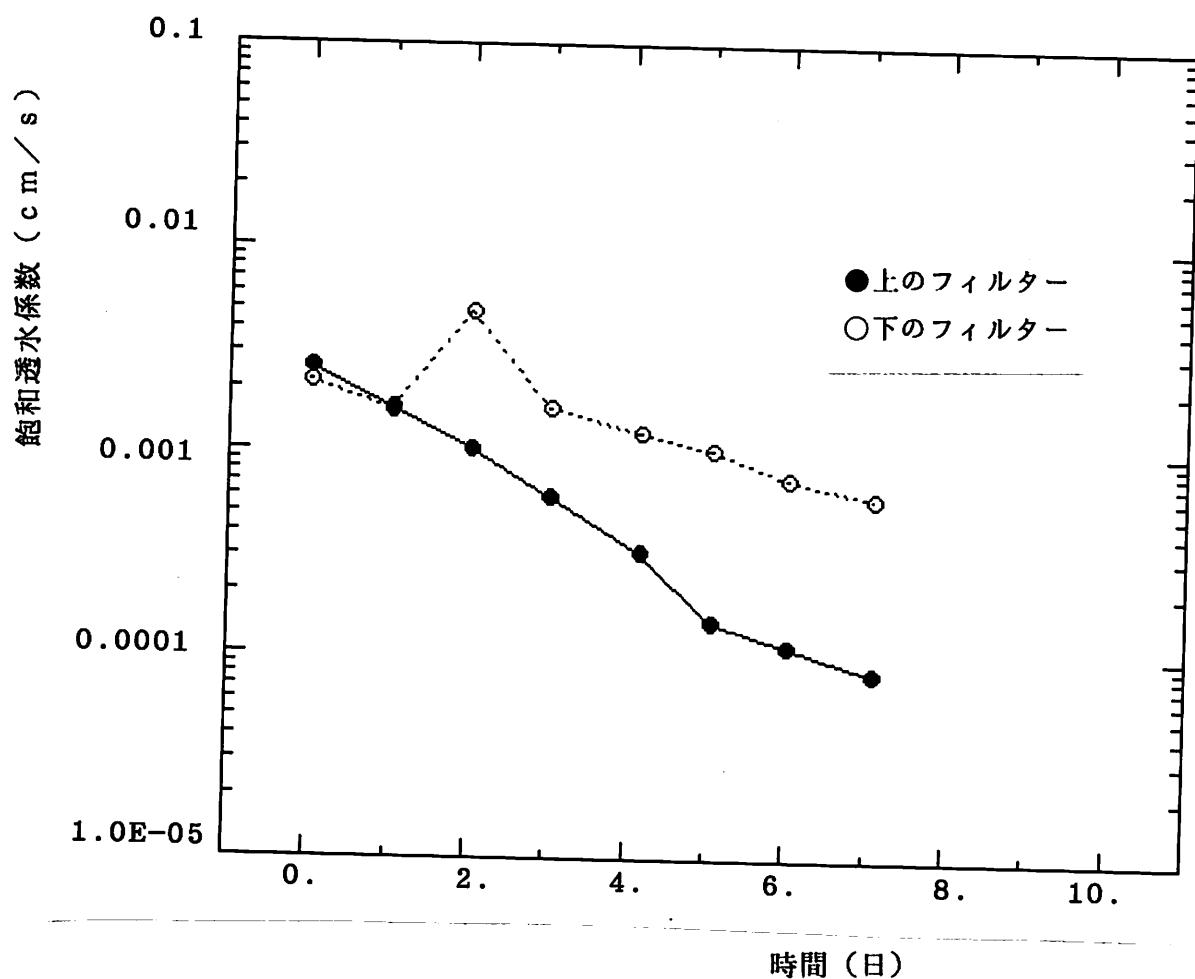


図57 実験6(栄養・脱気水)におけるフィルターの飽和透水係数の変化

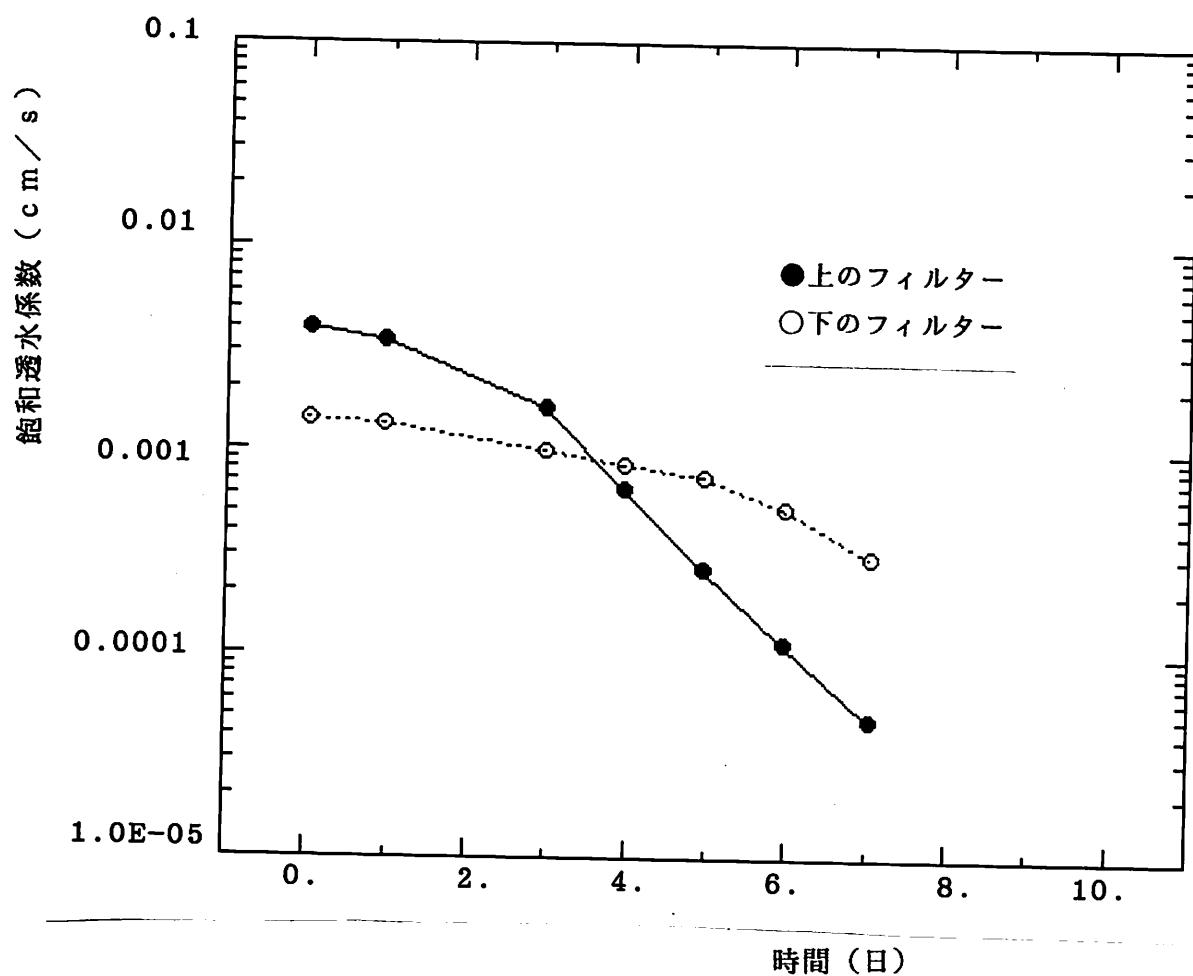


図58 実験7(栄養・曝気水第2回)におけるフィルターの飽和透水係数の変化

5. まとめ及び今後の課題

この論文で分かったことをまとめると、以下のようになる。

- ①標準砂に水を流し続けると、微生物の活動による影響を受けて飽和透水係数が影響が最も大きい場合には10分の1以下、また影響が少ない場合でも2分の1以下に減少し、これはクロッギング現象によるものと分かった。
- ②溶存酸素量が、クロッギング現象に影響することが示された。特に、大気と平衡にある水($D O 9 m g / l$)において著しくクロッギングを生じ、酸素を過剰に供給した時や、酸素を少なくした時には、クロッギングは比較的少なかった。
- ③最もクロッギングが激しく起こるのは、試料の砂よりも、フィルターの部分であった。
- ④フィルター近傍の砂のクロッギングはフィルターのクロッギングの影響を受け、フィルターの飽和透水係数が低下すると、砂の飽和透水係数もそれに付随するように低下した。
- ⑤試料の上の部分と下の部分でのクロッギングの程度を比較すると、上の部分の方がより著しくクロッギングを生ずる場合と、下の部分の方でよりクロッギングが生じる場合とがあり、流す水の種類を同じにして実験しても、この違いが見られた。すなわち、砂のどの部分でよりクロッギングが起きるかということは、微妙な条件の違いによって決められる。そして、砂の各層ごとの飽和透水係数の違いは、時間とともに拡大される傾向が見られた。このことから、微生物の密度が大きいところに、より微生物が集まりやすくなると考えることができる。
- ⑥微生物の活動がある場合は、試料中で酸素の消費があり、脱気(2時間)によって $D O$ を $6 m g / l$ とした水を流しても、なお酸素の消費が起きて排出水の $D O$ が $5 m g / l$ にまで低下した。すなわち、脱気水中でも好気性の微生物によるクロッギング現象が認められた。

今後の課題として、以下の4つが考えられる。

(1) 設定温度を変える

微生物の活動は、温度によって大きく影響を受ける。今回の実験では、 $20^{\circ}C$ の実験室で実験を行ったが、 $30^{\circ}C$ またはそれ以上にして実験すれば、微生物の活動はより活発になり、クロッギングもより大きくなると思われる。したがって、温度によってどの程度変わるか実験することが、今後の課題の1つである。

(2) 試料を変える

水田や畑の土を使って実験をして、実際の土壤でのクロッギングのしくみを研究することも、今後の重要な課題である。土の中で起こる現象は、砂よりもはるかに複雑なので、何が観察されるかは興味あるところである。その場合、フィルターの飽和透水係数よりも、土の飽和透水係数の方が数オーダー小さいため、フィルターの影響を受けにくいというメ

リットがある。

(3) 微生物をうえつける

今回の実験では、特定の菌をうえつけなかったが、たとえば Philippe vandevivere は、*Arthrobacter*という細菌をうえつけて実験している。彼は特定の微生物の活動を調べるためにこのような処置をしているが、必ずしもそのような目的でなくても、クロッギングをより大きく起こすという目的で微生物をうえつけてみるのも良い。

(4) 糖濃度を測定する

コラム内での糖の消費を計測すれば、微生物の活動が活発に行われているかどうかが分かる。土壤間隙水の糖濃度を計測すれば、各層ごとの違いも知ることができる。その際、例えばバイオセンサーのような測定装置を用いることが考えられる。

6. 感想

卒業論文の製作を通して知られた事は、色々な人の協力がなければ、一人では研究はできないということ、そして実験の準備に大きな時間と手間がかかる事、根気良く測定を続ける事の大変さ、分かりやすくまとめることの困難さ、などなどである。

今まで私が高校、大学で経験してきた実験は、すべて結果があらかじめ分かっているものであり、しかも、1日で終わる実験がほとんどだったので、実験とはそういうものだと思っていた。しかし、1つの実験を準備する時には、綿密な計画を立て、装置を組み立てなければならず、それまでが、想像以上に大変だった。装置を作る時にも、たとえばマノメーターのチューブを選定するために、毛管上昇を調べたり、その他色々の補助実験をしなければならないので、実験の準備とはこんなに大変なのかと思った。

また、測定を始めれば、自分の都合はどうであれ、測定時間には測定をしなければならないので、根気がいる。中野先生の、「研究者は、自然現象に自分の都合を合わせなければならない」という言葉には、励まされましたが、研究の厳しさ的一面を感じる事ができた。

そして、測定結果を分かりやすくまとめ、読んだ人に良く理解できるような論文に仕上げる事が難しい事を、少なからず知ることができた。人に分かりやすく伝えるためには、まず自分自身がよく理解しなければならない。これは、よく言われる事であるが、論文を書きながら、なるほど言われる通りだと実感した。

以上のように、論文を書くことの大変さを知られたと同時に、研究の楽しさも知ることができた。というのは、まだ十分には解明されていない現象について、どうしてこういうことが起きるのだろうかと考えながら実験を進めたので、教科書にある実験をするのではなく、自分で実験を作り出す楽しみがあった。

準備も含めて半年足らずの短い研究期間ではあったが、研究の大変さ、楽しさの両面を知ることができたことは、大きな収穫であった。

もちろん、始めての研究なので、あえて書かないが色々な失敗もした。しかし、失敗したからといって落ち込まずに、失敗を楽しむという程度の楽な気持ちでいたので、失敗した事を負担には感じなかった。

四月から、大学院生として、新たな研究生活が始まるが、卒論で知られた事を生かして、より良い研究をしていきたいと思う。

7. 謝辞

宮崎毅助教授には、本研究のはじめから終りまで、丁寧にご指導頂きました。どんな事にも、「なぜだろう」という疑問を持ち、つきつめて考えることの大切さを教えていただき、実際に、どんな質問をしても、徹底的に分かるまで時間をかけて教えてくださる氏の姿には、研究者とはかくあるべきと、敬服しました。

中野政詩教授には、常に暖かく見守っていただき、要所要所で適切な助言をしていただきました。井本博美技官には、特に装置の設計、制作をすべて面倒を見ていただきました。とんでもない失敗をして、怒らせる事もしばしばでした。おとなしそうに見えて、研究の話になると顔中口にして自説を展開する塩沢昌助手、新婚で幸せの絶頂にあると思われる西村拓助手、終電まで論文の作成を手伝って頂いた、キリンの大好きな吉田修一郎氏、自己を犠牲にして学生のために親切にしてくださる前村庸之氏、研究室が好きなあまり、下宿に帰ろうとしない守安卓弥氏、忘年会の幹事で走り回っていた花山獎氏、分からぬ事は分かるまで調べる石川英一氏、本当に色々な人にお世話をになったからこそ、この論文ができました。この場を借りて、お礼を申し上げます。

8. 参考文献

- (1) 西口 猛編著「農村集落排水のための汚水処理技術入門」農業土木学会選書9、1985
- (2) W.F. Frankenberger Jr., F.R. Troeth, and L.C. Dumenil : "Bacterial Effects on Hydraulic Conductivity of Soils" Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 43, 1979
- (3) Ronald W. Harvey, Richard L Smith, and Lear George : "Effect of Organic Contamination upon Microbial Distributions and Heterotrophic Uptake in a Cape Cod, Mass., Aquifer" App. Env. Microb., Vol. 48, 1984
- (4) F.J. Moltz, M.A. Widdowson, and L.D. Benefield : "Simulation of Microbial Growth Dynamics Coupled to Nutrient and Oxygen Transport in Porous Media" Water Res. Res., Vol. 22, 1986
- (5) Phillippe Vandevivere and Phillippe Baveye : "Saturated Hydraulic Conductivity Reduction Caused by Aerobic Bacteria in Sand Columns, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 56, 1992
- (6) 田坂 剛一「富栄養水の浸透における飽和透水係数の変化」卒業論文（東京大学農学部）、1990
- (7) 八幡 敏雄、田淵 俊雄、中野 政詩「土壤物理実験」東京大学出版会、1967

9. 付録（データ）

実験1から実験7までの、マノメーターの水位を計測した位置の圧力水頭と全水頭の時間による変化、砂の層ごとの飽和透水係数の変化の表を1枚目の表に、排水流量の測定値からフラックスを求めた値を2枚目の表にのせる。

1枚目の表の、飽和透水係数の経時変化の中で、深さ0.3～9.0cmは、試料全体の飽和透水係数をあらわし、upper f. とあるのは上のフィルター、lower f. とあるのは下のフィルターの飽和透水係数を、それぞれあらわしている。

また、他のデータの中で、ヘッド差とあるのは、給水ヘッドと排水ヘッドの差をあらわす。また、上端圧力は、試料の上端にかかる水圧をあらわし、下端圧力は、試料の下端にかかる水圧をあらわしている。そして、流量とは排水流量のことであり、フラックスは試料中の水の流れのフラックスの事である。一番最後の、全体のKとは、フラックスを給水ヘッドと排水ヘッドの差で割った値であり、試料とフィルターをすべて含む、装置全体のみかけの飽和透水係数を計算したものである。

実験 1 未殺菌土、殺菌・脱気水使用

圧力水頭の経時変化 単位: cm H₂O

深さ(cm):	0hr	19hr	43hr	76hr	116hr	139hr	164hr	193hr	210hr	238hr
0.0 :	-3.28	-2.99	-2.88	-3.12	-3.10	-3.00	-3.19	-3.09	-3.47	-3.30
0.3 :	-2.71	-2.96	-2.94	-2.92	-2.89	-2.79	-2.94	-2.82	-3.21	-3.05
1.0 :	-3.21	-2.68	-2.72	-2.74	-2.79	-2.59	-2.78	-2.54	-3.15	-2.88
1.7 :	-2.93	-2.45	-2.52	-2.52	-2.63	-2.45	-2.59	-2.18	-3.04	-2.68
3.0 :	-2.60	-1.97	-2.10	-2.13	-2.34	-2.04	-2.21	-1.75	-2.69	-2.33
5.0 :	-1.84	-1.36	-1.52	-1.44	-1.58	-1.37	-1.67	-0.83	-1.92	-1.70
7.0 :	-1.32	-0.83	-1.07	-0.87	-0.63	-0.80	-1.00	-0.08	-1.37	-1.16
9.0 :	-1.10	-0.47	-0.73	-0.44	-0.09	-0.45	-0.74	0.49	-0.79	-0.79

全水頭の経時変化 単位: cm H₂O

深さ(cm):	0hr	19hr	43hr	76hr	116hr	139hr	164hr	193hr	210hr	238hr
0.0 :	6.72	7.01	7.12	6.88	6.90	7.00	6.81	6.91	6.53	6.70
0.3 :	6.99	6.74	6.76	6.78	6.81	6.91	6.76	6.88	6.49	6.65
1.0 :	5.79	6.32	6.28	6.26	6.21	6.41	6.22	6.46	5.85	6.12
1.7 :	5.37	5.85	5.78	5.78	5.67	5.85	5.71	6.12	5.26	5.62
3.0 :	4.40	5.03	4.90	4.87	4.66	4.96	4.79	5.25	4.31	4.67
5.0 :	3.16	3.64	3.48	3.56	3.42	3.63	3.33	4.17	3.08	3.30
7.0 :	1.68	2.17	1.93	2.13	2.37	2.20	2.00	2.92	1.63	1.84
9.0 :	-0.10	0.53	0.27	0.56	0.91	0.55	0.26	1.49	0.21	0.21

飽和透水係数の経時変化 単位: *10⁻³ cm/s

深さ(cm):	0hr	19hr	43hr	76hr	116hr	139hr	164hr	193hr	210hr	238hr
0.0-0.3 :	-15	15.04	11.69	39.33	41.69	44.48	81.78	116	103	81.96
0.3-1.0 :	7.88	22.55	20.45	17.65	14.59	18.68	17.67	19.34	15.05	18.04
1.0-1.7 :	22.52	20.15	19.64	19.12	16.21	16.68	18.70	23.88	16.33	19.12
1.7-3.0 :	18.11	21.45	20.72	18.73	16.10	19.49	19.26	17.33	18.83	18.69
3.0-5.0 :	21.79	19.47	19.76	20.01	20.17	20.06	18.67	21.48	22.38	19.94
5.0-7.0 :	18.26	18.41	18.10	18.33	23.82	18.66	20.49	18.56	18.98	18.71
7.0-9.0 :	15.18	16.50	16.90	16.70	17.13	16.17	15.66	16.23	19.38	16.76
0.3-9.0 :	16.58	18.96	18.80	18.33	18.44	18.25	18.24	18.73	19.07	18.45
upper f.:	2.76	3.24	3.60	3.24	2.86	3.51	3.15	2.90	2.90	2.99
lower f.:	2.67	1.96	2.28	1.84	1.55	2.38	2.05	1.20	2.09	2.18

他のデータ 単位: 圧力はすべて cm H₂O

時間(hr):	0hr	19hr	43hr	76hr	116hr	139hr	164hr	193hr	210hr	238hr
(dy):	0.00	0.79	1.79	3.17	4.83	5.79	6.83	8.04	8.75	9.92
ヘッド差:	11.62	11.62	11.62	11.51	11.64	10.94	11.68	11.51	11.58	11.57
上端圧力:	-1.32	-1.32	-1.32	-1.50	-1.35	-1.48	-1.46	-1.49	-1.57	-1.47
下端圧力:	-2.94	-2.94	-2.94	-3.01	-2.99	-2.42	-3.14	-3.00	-3.15	-3.04
流量 1/hr:	0.936	0.938	0.972	0.908	0.866	0.924	0.944	0.804	0.953	0.946
フックス:	1.351	1.353	1.403	1.311	1.251	1.334	1.363	1.160	1.376	1.366

*10⁻² cm/s

気温 C : 19.9 20.0 19.7 19.9 21.2 21.0 20.2 19.8 19.9 20.6

全体の K: 12.56 12.58 13.04 12.30 11.60 13.17 12.60 10.89 12.83 12.75

*10⁻³ cm/s

実験 1 殺菌・脱気水第1回

測定開始後	ヘッド差	排水速度	フラックス
0hr 0.00dy	2.59cm	4.69ml/ 2min = 140.700ml/hr	2.031E-03cm/s
19hr 0.79dy	11.62cm	31.20ml/ 2min = 936.000ml/hr	1.351E-02cm/s
22hr 0.92dy	2.59cm	3.87ml/ 2min = 116.100ml/hr	1.676E-03cm/s
40hr 1.67dy	2.59cm	4.01ml/ 2min = 120.300ml/hr	1.737E-03cm/s
43hr 1.79dy	11.62cm	32.39ml/ 2min = 971.700ml/hr	1.403E-02cm/s
49hr 2.04dy	2.59cm	4.23ml/ 2min = 126.900ml/hr	1.832E-03cm/s
74hr 3.08dy	2.59cm	4.26ml/ 2min = 127.800ml/hr	1.845E-03cm/s
77hr 3.21dy	11.51cm	30.38ml/ 2min = 911.400ml/hr	1.316E-02cm/s
95hr 3.96dy	2.76cm	4.01ml/ 2min = 120.300ml/hr	1.737E-03cm/s
114hr 4.75dy	2.76cm	3.85ml/ 2min = 115.500ml/hr	1.668E-03cm/s
116hr 4.83dy	11.64cm	28.88ml/ 2min = 866.400ml/hr	1.251E-02cm/s
120hr 5.00dy	2.81cm	4.00ml/ 2min = 120.000ml/hr	1.733E-03cm/s
138hr 5.75dy	2.80cm	4.20ml/ 2min = 126.000ml/hr	1.819E-03cm/s
139hr 5.79dy	10.94cm	30.81ml/ 2min = 924.300ml/hr	1.334E-02cm/s
144hr 6.00dy	2.66cm	3.89ml/ 2min = 116.700ml/hr	1.685E-03cm/s
162hr 6.75dy	2.87cm	4.08ml/ 2min = 122.400ml/hr	1.767E-03cm/s
164hr 6.83dy	11.68cm	31.47ml/ 2min = 944.100ml/hr	1.363E-02cm/s
193hr 8.04dy	11.51cm	26.79ml/ 2min = 803.700ml/hr	1.160E-02cm/s
210hr 8.75dy	11.58cm	31.78ml/ 2min = 953.400ml/hr	1.376E-02cm/s
236hr 9.83dy	2.87cm	3.75ml/ 2min = 112.500ml/hr	1.624E-03cm/s
238hr 9.92dy	11.58cm	31.54ml/ 2min = 946.200ml/hr	1.366E-02cm/s
283hr 11.79dy	11.59cm	31.01ml/ 2min = 930.300ml/hr	1.343E-02cm/s

実験 2 栄養・曝氣水使用

圧力水頭の経時変化 単位 : cm H₂O

深さ(cm)	30hr	48hr	69hr	94hr	115hr	145hr	164hr	188hr	212hr
0.0	-3.72	-3.24	-3.19	-3.41	-4.73	-6.77	-6.62	-7.88	-8.28
0.3	-3.62	-3.22	-3.05	-3.26	-4.53	-6.52	-6.48	-7.68	-8.08
1.0	-3.18	-2.85	-2.59	-2.81	-4.04	-5.97	-5.94	-7.19	-7.53
1.7	-3.04	-2.58	-2.26	-2.39	-3.44	-5.39	-5.33	-6.57	-7.01
3.0	-2.57	-2.15	-1.75	-1.76	-2.72	-4.49	-4.48	-5.55	-5.97
5.0	-1.77	-1.59	-1.09	-0.91	-1.68	-3.16	-3.15	-4.09	-4.40
7.0	-1.15	-1.06	-0.57	-0.38	-0.94	-1.78	-2.13	-2.77	-2.94
9.0	-0.69	-0.58	-0.35	-0.21	-0.49	-1.16	-1.16	-1.57	-1.71

全水頭の経時変化 単位 : cm H₂O

深さ(cm)	単位: cm Hg									
	30hr	48hr	69hr	94hr	115hr	145hr	164hr	188hr	212hr	
0.0	6.28	6.76	6.81	6.59	5.27	3.23	3.38	2.12	1.72	
0.3	6.09	6.49	6.65	6.44	5.17	3.18	3.22	2.02	1.62	
1.0	5.82	6.15	6.41	6.19	4.96	3.03	3.06	1.81	1.47	
1.7	5.26	5.72	6.04	5.91	4.86	2.92	2.98	1.74	1.30	
3.0	4.43	4.85	5.25	5.24	4.28	2.51	2.52	1.45	1.03	
5.0	3.23	3.41	3.91	4.09	3.32	1.84	1.85	0.91	0.60	
7.0	1.85	1.94	2.43	2.62	2.06	1.22	0.87	0.23	0.06	
9.0	0.31	0.42	0.65	0.79	0.51	-0.16	-0.16	-0.57	-0.71	

飽和透水係数の経時変化 単位 : *10⁻³ cm/s

深さ(cm):	30hr	48hr	69hr	94hr	115hr	145hr	164hr	188hr	212hr
0.0-0.3 :	19.51	13.36	15.45	11.63	9.51	17.53	5.81	7.02	5.38
0.3-1.0 :	33.50	25.60	25.31	16.28	10.57	13.63	13.56	7.80	8.37
1.0-1.7 :	15.85	19.94	16.07	14.54	22.19	17.78	25.52	21.85	7.17
1.7-3.0 :	19.87	18.31	13.98	11.28	7.10	9.38	8.85	10.68	8.79
3.0-5.0 :	21.14	17.01	12.68	10.11	6.60	8.72	9.25	8.67	8.34
5.0-7.0 :	18.38	16.67	11.48	7.91	5.03	9.42	6.32	6.88	6.64
7.0-9.0 :	16.47	16.12	9.55	6.36	4.09	4.23	6.02	5.85	4.66
0.3-9.0 :	19.11	17.57	12.33	8.96	5.92	7.61	7.98	7.86	6.69
upper f.:	2.42	2.78	2.01	1.20	0.40	0.22	0.24	0.15	0.11
lower f.:	1.86	1.87	1.40	0.88	0.51	0.62	0.56	0.50	0.42

他のデータ 単位：圧力はすべて cm H₂O

実験 2 栄養・曝気水第1回

測定開始後	ヘッド差	排水速度	フラックス
29hr	1.21dy : 2.69cm	3.59ml/ 2min = 107.700ml/hr	1.555E-03cm/s
30hr	1.25dy : 11.57cm	29.29ml/ 2min = 878.700ml/hr	1.269E-02cm/s
46hr	1.92dy : 2.62cm	3.57ml/ 2min = 107.100ml/hr	1.546E-03cm/s
48hr	2.00dy : 11.48cm	28.29ml/ 2min = 848.700ml/hr	1.225E-02cm/s
67hr	2.79dy : 2.64cm	2.52ml/ 2min = 75.600ml/hr	1.091E-03cm/s
69hr	2.88dy : 11.78cm	19.62ml/ 2min = 588.600ml/hr	8.498E-03cm/s
92hr	3.83dy : 2.58cm	1.71ml/ 2min = 51.300ml/hr	7.406E-04cm/s
94hr	3.92dy : 11.30cm	13.43ml/ 2min = 402.900ml/hr	5.817E-03cm/s
113hr	4.71dy : 2.58cm	1.08ml/ 2min = 32.280ml/hr	4.660E-04cm/s
115hr	4.79dy : 11.22cm	9.32ml/ 2min = 279.600ml/hr	4.037E-03cm/s
142hr	5.92dy : 2.58cm	0.53ml/ 2min = 15.870ml/hr	2.291E-04cm/s
145hr	6.04dy : 11.22cm	3.37ml/ 2min = 101.190ml/hr	1.461E-03cm/s
164hr	6.83dy : 11.36cm	3.58ml/ 2min = 107.340ml/hr	1.550E-03cm/s
174hr	7.25dy : 2.58cm	264.24ml/1294min = 12.252ml/hr	1.769E-04cm/s
187hr	7.79dy : 11.30cm	2.70ml/ 1min = 162.156ml/hr	2.341E-03cm/s
198hr	8.25dy : 2.58cm	148.90ml/1308min = 6.830ml/hr	9.861E-05cm/s
212hr	8.83dy : 11.27cm	2.07ml/ 1min = 124.206ml/hr	1.793E-03cm/s

支那

実験 3 栄養・脱氣水使用

圧力水頭の経時変化 単位 : cm H₂O

深さ(cm)	15hr	33hr	54hr	79hr	100hr	130hr	149hr	173hr	197hr
0.0	-2.09	-1.86	-1.51	-1.42	-1.41	-1.57	-1.66	-1.58	-1.53
0.3	-2.31	-1.73	-1.41	-1.35	-1.16	-1.34	-1.41	-1.38	-1.26
1.0	-1.97	-1.40	-0.83	-0.69	-0.56	-0.69	-0.77	-0.73	-0.64
1.7	-1.58	-1.06	-0.22	-0.07	0.12	-0.00	-0.09	-0.03	0.05
3.0	-1.11	-0.52	0.75	1.19	1.38	1.27	1.16	1.24	1.31
5.0	-0.62	0.14	2.19	2.84	3.15	3.13	2.95	3.07	3.14
7.0	-0.10	0.77	3.03	4.12	4.57	4.63	4.43	4.58	4.59
9.0	0.53	1.30	3.14	4.61	5.49	5.71	5.32	5.53	5.46

全水頭の経時変化 単位 : cm H₂O

深さ(cm)	15hr	33hr	54hr	79hr	100hr	130hr	149hr	173hr	197hr
0.0	7.91	8.14	8.49	8.58	8.59	8.43	8.34	8.42	8.47
0.3	7.39	7.97	8.29	8.35	8.54	8.36	8.29	8.32	8.44
1.0	7.03	7.60	8.17	8.31	8.44	8.31	8.23	8.27	8.36
1.7	6.72	7.25	8.08	8.23	8.42	8.30	8.21	8.27	8.35
3.0	5.89	6.48	7.75	8.19	8.38	8.27	8.16	8.24	8.31
5.0	4.38	5.14	7.19	7.84	8.15	8.13	7.95	8.07	8.14
7.0	2.90	3.77	6.03	7.12	7.57	7.63	7.43	7.58	7.59
9.0	1.53	2.30	4.14	5.61	6.49	6.71	6.32	6.53	6.46

飽和透水係数の経時変化 単位 : *10⁻³ cm/s

深さ(cm)	15hr	33hr	54hr	79hr	100hr	130hr	149hr	173hr	197hr
0.0-0.3	7.74	18.80	4.98	1.59	4.75	3.03	3.41	1.88	6.33
0.3-1.0	26.08	20.15	19.35	21.37	5.54	9.89	6.63	8.76	5.54
1.0-1.7	30.28	21.01	24.44	10.06	22.17	32.98	19.88	-	44.31
1.7-3.0	21.01	18.10	13.27	45.36	29.40	36.75	14.78	27.10	20.58
3.0-5.0	17.76	15.90	11.85	6.98	6.88	10.10	5.41	7.36	7.45
5.0-7.0	18.12	15.55	5.72	3.39	2.73	2.83	2.19	2.55	2.30
7.0-9.0	19.58	14.49	3.51	1.62	1.47	1.54	1.02	1.19	1.12
0.3-9.0	19.91	16.35	6.95	3.88	3.36	3.73	2.51	3.04	2.78
upper f.	8.65	9.68	12.06	24.43	15.83	1.57	0.84	1.32	1.81
lower f.	1.34	0.95	0.20	0.058	0.034	0.030	0.025	0.026	0.026

他のデータ 単位 : 圧力はすべて cm H₂O

時間(hr)	15hr	33hr	54hr	79hr	100hr	130hr	149hr	173hr	197hr
(dy)	0.63	1.38	2.25	3.29	4.17	5.42	6.21	7.21	8.21
ヘッド差	11.68	11.43	11.62	11.68	11.63	11.67	11.67	11.74	11.99
上端圧力	-1.47	-1.42	-1.40	-1.40	-1.39	-1.39	-1.39	-1.39	-1.39
下端圧力	-3.15	-2.85	-3.02	-3.08	-3.02	-3.06	-3.06	-3.13	-3.38
流量 1/hr	0.929	0.738	0.230	0.085	0.055	0.049	0.039	0.043	0.044
フックス	1.341	1.065	0.332	0.122	0.079	0.071	0.057	0.063	0.063

*10⁻² cm/s

気温 C : 20.0 20.1 20.0 20.8 20.9 20.0 20.3 20.5 20.5

全体の K : 12.40 10.07 3.08 1.13 0.74 0.65 0.53 0.58 0.57

*10⁻³ cm/s

実験 3 栄養・脱気水

測定開始後	ヘッド差	排水速度	フラックス
14hr	0.58dy : 2.66cm	5.37ml/ 2min = 161.100ml/hr	2.326E-03cm/s
15hr	0.63dy : 11.68cm	30.97ml/ 2min = 929.100ml/hr	1.341E-02cm/s
31hr	1.29dy : 2.61cm	4.42ml/ 2min = 132.600ml/hr	1.914E-03cm/s
33hr	1.38dy : 11.43cm	24.60ml/ 2min = 738.000ml/hr	1.065E-02cm/s
53hr	2.21dy : 2.67cm	1.18ml/ 2min = 35.400ml/hr	5.111E-04cm/s
54hr	2.25dy : 11.62cm	7.66ml/ 2min = 229.800ml/hr	3.318E-03cm/s
77hr	3.21dy : 2.71cm	0.46ml/ 2min = 13.860ml/hr	2.001E-04cm/s
79hr	3.29dy : 11.68cm	2.82ml/ 2min = 84.600ml/hr	1.221E-03cm/s
99hr	4.13dy : 2.71cm	0.36ml/ 2min = 10.740ml/hr	1.551E-04cm/s
100hr	4.17dy : 11.63cm	1.83ml/ 2min = 54.840ml/hr	7.918E-04cm/s
128hr	5.33dy : 2.67cm	0.18ml/ 2min = 5.490ml/hr	7.926E-05cm/s
128hr	5.33dy : 2.67cm	0.18ml/ 2min = 5.490ml/hr	7.926E-05cm/s
130hr	5.42dy : 11.67cm	40.80ml/ 50min = 48.960ml/hr	7.069E-04cm/s
138hr	5.75dy : 2.78cm	89.99ml/ 996min = 5.421ml/hr	7.827E-05cm/s
149hr	6.21dy : 11.67cm	16.41ml/ 25min = 39.372ml/hr	5.684E-04cm/s
159hr	6.63dy : 2.78cm	95.02ml/1297min = 4.396ml/hr	6.346E-05cm/s
173hr	7.21dy : 11.75cm	10.11ml/ 14min = 43.329ml/hr	6.256E-04cm/s
183hr	7.63dy : 2.78cm	120.82ml/1311min = 5.529ml/hr	7.983E-05cm/s
197hr	8.21dy : 11.99cm	11.71ml/ 16min = 43.901ml/hr	6.338E-04cm/s

実験 4 殺菌土、殺菌・脱気水使用

圧力水頭の経時変化 単位 : cm H₂O

深さ(cm):	0hr	17hr	44hr	65hr	92hr	113hr	137hr	163hr	185hr	212hr	240hr
0.0 :	-5.07	-4.98	-5.26	-5.42	-5.56	-5.56	-5.83	-5.41	-5.42	-5.56	-5.47
0.3 :	-4.89	-4.86	-5.14	-5.30	-5.43	-5.42	-5.54	-5.25	-5.29	-5.39	-5.36
1.0 :	-4.57	-4.52	-4.77	-4.90	-5.01	-4.99	-5.06	-4.90	-4.92	-5.00	-4.99
1.7 :	-4.05	-4.12	-4.33	-4.53	-4.69	-4.72	-4.58	-4.45	-4.45	-4.61	-4.57
3.0 :	-3.64	-3.62	-3.76	-3.92	-3.99	-4.01	-4.07	-3.91	-3.88	-4.00	-3.94
5.0 :	-2.88	-2.69	-2.76	-2.97	-3.07	-3.08	-3.07	-2.91	-2.91	-2.98	-2.92
7.0 :	-1.91	-1.81	-1.66	-1.94	-1.88	-1.90	-1.96	-1.86	-1.86	-1.90	-1.84
9.0 :	-1.18	-0.96	-0.81	-1.13	-1.11	-1.11	-1.13	-1.05	-1.05	-1.12	-1.03

全水頭の経時変化 単位 : cm H₂O

深さ(cm):	0hr	17hr	44hr	65hr	92hr	113hr	137hr	163hr	185hr	212hr	240hr
0.0 :	4.93	5.02	4.74	4.58	4.44	4.44	4.17	4.59	4.58	4.44	4.53
0.3 :	4.81	4.84	4.56	4.40	4.27	4.28	4.16	4.45	4.41	4.31	4.34
1.0 :	4.43	4.48	4.23	4.10	3.99	4.01	3.94	4.10	4.08	4.00	4.01
1.7 :	4.25	4.18	3.97	3.77	3.61	3.58	3.72	3.86	3.85	3.69	3.73
3.0 :	3.36	3.38	3.24	3.08	3.01	2.99	2.93	3.09	3.12	3.00	3.06
5.0 :	2.12	2.31	2.24	2.03	1.93	1.92	1.93	2.09	2.09	2.02	2.08
7.0 :	1.09	1.19	1.34	1.06	1.12	1.10	1.04	1.14	1.14	1.10	1.16
9.0 :	-0.18	0.04	0.19	-0.13	-0.11	-0.11	-0.13	-0.05	-0.03	-0.12	-0.03

飽和透水係数の経時変化 単位 : *10⁻³ cm/s

深さ(cm):	0hr	17hr	44hr	65hr	92hr	113hr	137hr	163hr	185hr	212hr	240hr
0.0-0.3 :	26.62	16.85	15.16	15.43	16.24	17.02	269	19.91	16.59	21.38	14.39
0.3-1.0 :	19.61	19.66	19.30	21.60	23.00	23.54	28.55	18.58	19.95	20.92	19.34
1.0-1.7 :	41.41	23.59	24.49	19.64	16.95	14.78	28.55	26.54	28.62	20.92	22.79
1.7-3.0 :	15.55	16.43	16.20	17.44	19.94	20.00	14.76	15.79	16.75	17.45	17.69
3.0-5.0 :	17.17	18.89	18.20	17.63	17.04	16.97	17.94	18.58	18.26	18.91	18.61
5.0-7.0 :	20.67	18.05	20.22	19.09	22.72	22.14	20.16	19.56	19.80	20.14	19.82
7.0-9.0 :	16.77	17.58	15.82	15.56	14.96	15.01	15.34	15.61	16.07	15.19	15.32
0.3-9.0 :	18.56	18.32	18.11	17.78	18.28	17.99	18.19	17.96	18.43	18.19	18.15
upper f.:	1.08	1.04	0.87	0.87	0.84	0.83	0.76	0.86	0.86	0.84	0.84
lower f.:	1.98	1.71	1.51	1.74	1.69	1.65	1.62	1.69	1.73	1.76	1.81

他のデータ 単位 : 圧力はすべて cm H₂O

時間(hr):	0hr	17hr	44hr	65hr	92hr	113hr	137hr	163hr	185hr	212hr	240hr
(dy):	0.00	0.71	1.83	2.71	3.83	4.71	5.71	6.79	7.71	8.83	10.00
ヘッド差:	11.86	11.82	11.69	11.71	11.72	11.72	11.83	11.75	11.75	11.69	11.50
上端圧力:	-1.11	-1.08	-1.10	-1.14	-1.18	-1.19	-1.10	-1.09	-1.04	-1.15	-1.14
下端圧力:	-2.97	-2.90	-2.79	-2.85	-2.90	-2.91	-2.93	-2.84	-2.79	-2.84	-2.64
流量 l/hr:	0.738	0.700	0.630	0.641	0.637	0.629	0.622	0.644	0.651	0.642	0.632
フラックス :	1.065	1.011	0.910	0.926	0.920	0.908	0.897	0.929	0.940	0.926	0.912
*10 ⁻² cm/s											
気温 C :	20.2	20.3	19.9	20.7	20.9	20.5	19.9	20.6	20.8	19.3	19.5
全体の K:	9.70	9.24	8.41	8.54	8.48	8.37	8.19	8.54	8.64	8.56	8.56
*10 ⁻³ cm/s											
DO(入) :	6.14	6.14	6.55	5.74	6.11	6.33	7.19	5.81	5.71	5.53	5.60
DO(出) :	7.13	7.23	8.03	8.11	8.27	8.15	8.10	8.27	8.09	8.40	8.30
DO(差) :	0.99	1.09	1.48	2.37	2.16	1.82	0.91	2.46	2.38	2.87	2.70

実験 4 殺菌・脱気水第2回

測定開始後		ヘッド差		排水速度		フラックス
0hr	0.00dy	11.86cm	61.48ml/	5min =	737.760ml/hr	1.065E-02cm/s
15hr	0.63dy	3.06cm	53.62ml/	30min =	107.240ml/hr	1.548E-03cm/s
17hr	0.71dy	11.82cm	116.75ml/	10min =	700.500ml/hr	1.011E-02cm/s
44hr	1.83dy	11.69cm	105.05ml/	10min =	630.300ml/hr	9.100E-03cm/s
45hr	1.88dy	2.94cm	64.67ml/	50min =	77.598ml/hr	1.120E-03cm/s
63hr	2.63dy	2.94cm	82.01ml/	63min =	78.100ml/hr	1.128E-03cm/s
65hr	2.71dy	11.71cm	10.69ml/	1min =	641.400ml/hr	9.260E-03cm/s
90hr	3.75dy	3.07cm	35.15ml/	30min =	70.304ml/hr	1.015E-03cm/s
92hr	3.83dy	11.72cm	106.24ml/	10min =	637.440ml/hr	9.203E-03cm/s
113hr	4.71dy	11.72cm	104.83ml/	10min =	628.980ml/hr	9.081E-03cm/s
137hr	5.71dy	11.83cm	124.31ml/	12min =	621.550ml/hr	8.974E-03cm/s
141hr	5.88dy	3.02cm	43.12ml/	33min =	78.396ml/hr	1.132E-03cm/s
163hr	6.79dy	11.75cm	118.00ml/	11min =	643.636ml/hr	9.293E-03cm/s
183hr	7.63dy	2.99cm	43.59ml/	30min =	87.182ml/hr	1.259E-03cm/s
185hr	7.71dy	11.75cm	108.58ml/	10min =	651.480ml/hr	9.406E-03cm/s
210hr	8.75dy	3.07cm	25.15ml/	20min =	75.438ml/hr	1.089E-03cm/s
212hr	8.83dy	11.69cm	106.96ml/	10min =	641.760ml/hr	9.265E-03cm/s
238hr	9.92dy	2.99cm	33.55ml/	30min =	67.100ml/hr	9.688E-04cm/s
240hr	10.00dy	11.50cm	84.21ml/	8min =	631.575ml/hr	9.118E-03cm/s

実験 5 素菌土、素菌・曝気水使用

圧力水頭の経時変化		単位 : cm H ₂ O									
深さ(cm)		0hr	23hr	46hr	68hr	91hr	114hr	140hr	163hr	187hr	211hr
0.0	:	-1.53	-1.35	-1.33	-1.63	-1.21	-1.27	-1.29	-1.66	-1.38	-1.40
0.3	:	-1.57	-1.63	-1.62	-1.53	-1.11	-1.18	-1.16	-1.51	-1.21	-1.19
1.0	:	-0.96	-1.16	-1.06	-1.12	-0.65	-0.72	-0.69	-1.07	-0.79	-0.77
1.7	:	-0.62	-0.79	-0.71	-0.56	-0.32	-0.39	-0.36	-0.71	-0.43	-0.42
3.0	:	-0.02	-0.18	-0.14	0.55	0.31	0.20	0.23	-0.12	0.17	0.12
5.0	:	1.02	0.77	0.81	1.98	1.35	1.26	1.31	0.92	1.21	1.18
7.0	:	1.88	1.92	2.13	3.81	2.27	2.16	2.21	1.83	2.13	2.11
9.0	:	2.75	2.71	3.00	5.19	3.23	3.06	3.07	2.74	3.05	3.03
10.0	:	1.98	2.94	3.16	5.74	3.48	3.32	3.38	3.06	3.40	3.33

全水頭の経時変化		単位 : cm H ₂ O									
深さ(cm)		0hr	23hr	46hr	68hr	91hr	114hr	140hr	163hr	187hr	211hr
0.0	:	8.47	8.65	8.67	8.37	8.79	8.73	8.71	8.34	8.62	8.60
0.3	:	8.13	8.07	8.08	8.17	8.59	8.52	8.54	8.19	8.49	8.51
1.0	:	8.04	7.84	7.94	7.88	8.35	8.28	8.31	7.93	8.21	8.23
1.7	:	7.68	7.51	7.59	7.74	7.98	7.91	7.94	7.59	7.87	7.88
3.0	:	6.98	6.82	6.86	7.55	7.31	7.20	7.23	6.88	7.17	7.12
5.0	:	6.02	5.77	5.81	6.98	6.35	6.26	6.31	5.92	6.21	6.18
7.0	:	4.88	4.92	5.13	6.81	5.27	5.16	5.21	4.83	5.13	5.11
9.0	:	3.75	3.71	4.00	6.19	4.23	4.06	4.07	3.74	4.05	4.03
10.0	:	1.98	2.94	3.16	5.74	3.48	3.32	3.38	3.06	3.40	3.33

飽和透水係数の経時変化		単位 : *10 ⁻³ cm/s									
深さ(cm)		0hr	23hr	46hr	68hr	91hr	114hr	140hr	163hr	187hr	211hr
0.0-0.3	:	8.39	5.20	4.50	6.95	14.56	14.28	17.44	19.67	22.61	32.65
0.3-1.0	:	74.00	30.58	44.24	11.18	28.32	29.17	30.07	26.48	24.49	24.48
1.0-1.7	:	18.50	21.31	17.70	23.16	18.37	18.92	18.70	20.25	20.17	19.59
1.7-3.0	:	17.67	18.93	15.76	31.69	18.84	18.31	18.09	18.01	18.20	16.75
3.0-5.0	:	19.82	19.14	16.85	16.25	20.23	21.28	21.48	20.49	20.41	20.84
5.0-7.0	:	16.69	23.64	26.02	54.50	17.98	18.18	17.97	18.05	18.14	18.31
7.0-9.0	:	16.84	16.61	15.66	14.94	18.67	18.18	17.34	18.05	18.14	18.14
9.0-10	:	5.38	13.05	10.53	10.29	12.95	13.51	14.32	14.46	15.07	13.99
0.3-9.0	:	18.90	20.05	18.87	20.35	19.37	19.51	19.23	19.23	19.20	19.02
upper f.	:	3.09	3.69	3.34	2.06	3.73	3.88	3.95	3.78	3.70	3.63
lower f.	:	0.91	0.76	0.64	0.21	0.71	0.73	0.73	0.75	0.74	0.75

他のデータ		単位 : 圧力はすべて cm H ₂ O									
時間(hr)		0hr	23hr	46hr	68hr	91hr	114hr	140hr	163hr	187hr	211hr
(dy)	:	0.00	0.96	1.92	2.83	3.79	4.75	5.83	6.79	7.79	8.79
ヘッド差	:	11.92	12.09	12.07	12.47	11.82	11.91	11.76	11.60	11.60	11.60
上端圧力	:	-0.30	-0.26	-0.27	-0.73	-0.17	-0.24	-0.29	-0.62	-0.32	-0.32
下端圧力	:	-2.22	-2.35	-2.34	-3.20	-1.99	-2.15	-2.05	-2.22	-1.92	-1.92
流量 l/hr	:	0.659	0.696	0.613	0.321	0.673	0.693	0.685	0.681	0.679	0.678
フラックス	:	0.951	1.005	0.885	0.463	0.971	1.000	0.988	0.984	0.980	0.979
*10 ⁻² cm/s											
気温 C	:	19.7	20.7	20.3	19.9	20.5	20.4	19.3	19.7	19.7	20.1
全体の K	:	8.62	8.97	7.92	4.01	8.87	9.07	9.08	9.16	9.12	9.12
*10 ⁻³ cm/s											
DO(入)	:	8.90	8.80	8.70	8.52	8.79	8.79	8.66	8.64	8.60	8.62
DO(出)	:	8.32	8.21	8.25	8.23	8.34	8.13	8.16	8.15	8.15	8.13
DO(差)	:	-0.58	-0.59	-0.45	-0.29	-0.45	-0.66	-0.50	-0.49	-0.45	-0.49

実験 5 殺菌・曝気水

測定開始後		ヘッド差		排水速度		フラックス
0hr	0.00dy	11.92cm	21.97ml/	2min =	659.100ml/hr	9.516E-03cm/s
20hr	0.83dy	3.01cm	46.36ml/	30min =	92.722ml/hr	1.339E-03cm/s
22hr	0.92dy	12.09cm	127.60ml/	11min =	696.000ml/hr	1.005E-02cm/s
43hr	1.79dy	12.03cm	102.16ml/	10min =	612.960ml/hr	8.850E-03cm/s
69hr	2.88dy	12.47cm	64.18ml/	12min =	320.900ml/hr	4.633E-03cm/s
93hr	3.88dy	11.82cm	100.90ml/	9min =	672.667ml/hr	9.712E-03cm/s
113hr	4.71dy	3.09cm	45.68ml/	30min =	91.366ml/hr	1.319E-03cm/s
116hr	4.83dy	11.91cm	115.46ml/	10min =	692.760ml/hr	1.000E-02cm/s
140hr	5.83dy	3.00cm	28.98ml/	20min =	86.925ml/hr	1.255E-03cm/s
143hr	5.96dy	11.76cm	125.51ml/	11min =	684.600ml/hr	9.884E-03cm/s
186hr	7.75dy	2.93cm	43.50ml/	30min =	87.008ml/hr	1.256E-03cm/s
189hr	7.88dy	11.60cm	113.13ml/	10min =	678.780ml/hr	9.800E-03cm/s

実験 6 栄養・脱気水使用

圧力水頭の経時変化 単位 : cm H₂O

深さ(cm)	0hr	24hr	48hr	72hr	99hr	121hr	144hr	170hr
0.0	-2.89	-3.52	-3.91	-5.20	-6.65	-9.04	-9.58	-9.91
0.3	-2.80	-3.33	-3.76	-4.92	-6.59	-8.80	-9.37	-9.66
1.0	-2.60	-3.06	-3.49	-5.05	-6.41	-8.28	-8.88	-9.07
1.7	-2.47	-2.97	-3.46	-4.91	-6.23	-7.81	-8.42	-8.69
3.0	-2.30	-2.65	-3.37	-4.64	-5.63	-6.88	-7.47	-7.58
5.0	-1.72	-2.02	-3.00	-3.87	-4.41	-5.37	-5.83	-5.81
7.0	-1.23	-1.39	-2.31	-2.88	-3.04	-3.76	-4.14	-4.08
9.0	-0.86	-0.92	-1.61	-1.72	-1.70	-2.26	-2.53	-2.46
10.0	-0.66	-0.10	-2.25	-1.27	-1.04	-1.63	-1.62	-1.63

全水頭の経時変化 単位 : cm H₂O

深さ(cm)	0hr	24hr	48hr	72hr	99hr	121hr	144hr	170hr
0.0	7.11	6.48	6.09	4.80	3.35	0.96	0.42	0.09
0.3	6.90	6.37	5.94	4.78	3.11	0.90	0.33	0.04
1.0	6.40	5.94	5.51	3.95	2.59	0.72	0.12	-0.07
1.7	5.83	5.33	4.84	3.39	2.07	0.49	-0.12	-0.39
3.0	4.70	4.35	3.63	2.36	1.37	0.12	-0.47	-0.58
5.0	3.28	2.98	2.00	1.13	0.59	-0.37	-0.83	-0.81
7.0	1.77	1.61	0.69	0.12	-0.04	-0.76	-1.14	-1.08
9.0	0.14	0.08	-0.61	-0.72	-0.70	-1.26	-1.53	-1.46
10.0	-0.66	-0.10	-2.25	-1.27	-1.04	-1.63	-1.62	-1.63

飽和透水係数の経時変化 単位 : *10⁻³ cm/s

深さ(cm)	0hr	24hr	48hr	72hr	99hr	121hr	144hr	170hr
0.0-0.3	19.78	29.03	15.61	96.07	5.77	15.11	8.13	11.33
0.3-1.0	19.38	17.33	12.71	5.40	6.22	11.75	8.13	12.02
1.0-1.7	17.00	12.22	8.16	8.01	6.22	9.20	7.11	4.13
1.7-3.0	15.92	14.12	8.39	8.08	8.58	10.62	9.06	12.92
3.0-5.0	19.50	15.54	9.58	10.41	11.84	12.33	13.55	16.42
5.0-7.0	18.33	15.54	11.92	12.68	14.66	15.49	15.74	13.99
7.0-9.0	16.98	13.91	12.01	15.25	14.00	12.09	12.51	9.94
9.0-10	17.30	59.14	4.76	11.65	13.58	8.17	27.10	11.11
0.3-9.0	17.81	14.72	10.37	10.13	10.55	12.17	11.41	10.95
upper f.:	2.56	1.61	1.03	0.59	0.32	0.15	0.11	0.083
lower f.:	2.19	1.58	4.80	1.63	1.24	1.02	0.74	0.59

他のデータ 単位 : 圧力はすべて cm H₂O

時間(hr)	0hr	24hr	48hr	72hr	99hr	121hr	144hr	170hr
(dy):	0.00	1.00	2.00	3.00	4.13	5.04	6.00	7.08

ヘッド差: 12.46 11.93 12.03 11.98 11.69 12.01 12.00 12.10

上端圧力: -0.73 -0.87 -0.87 -0.86 -0.84 -0.80 -0.94 -0.80

下端圧力: -3.19 -2.80 -2.90 -2.84 -2.53 -2.81 -2.94 -2.90

流量 l/hr: 0.959 0.737 0.541 0.444 0.320 0.209 0.169 0.131

フラックス : 1.384 1.064 0.781 0.640 0.462 0.302 0.244 0.189

*10⁻² cm/s

気温 C : 19.6 19.9 20.1 20.1 20.6 20.2 20.7 20.5

全体の K: 12.00 9.64 7.01 5.77 4.27 2.72 2.20 1.69

*10⁻³ cm/s

DO(入) : 7.00 6.94 6.42 6.75 5.96 5.96 6.51 6.53

DO(出) : 7.66 7.40 6.01 6.16 5.24 5.61 6.37 5.25

DO(差) : 0.66 0.46 -0.41 -0.59 -0.72 -0.35 -0.14 -1.28

実験 6 栄養・脱気水

測定開始後		ヘッド差		排水速度		フラックス
0hr	0.00dy	12.46cm	179.01ml/	11min =	958.982ml/hr	1.385E-02cm/s
20hr	0.83dy	3.14cm	126.10ml/	60min =	126.100ml/hr	1.821E-03cm/s
23hr	0.96dy	11.93cm	147.49ml/	12min =	737.450ml/hr	1.065E-02cm/s
43hr	1.79dy	3.14cm	70.13ml/	37min =	113.723ml/hr	1.642E-03cm/s
48hr	2.00dy	12.03cm	135.20ml/	15min =	540.800ml/hr	7.808E-03cm/s
68hr	2.83dy	3.27cm	64.97ml/	45min =	86.631ml/hr	1.251E-03cm/s
72hr	3.00dy	11.98cm	88.74ml/	12min =	443.715ml/hr	6.406E-03cm/s
94hr	3.92dy	3.13cm	50.41ml/	48min =	63.016ml/hr	9.098E-04cm/s
98hr	4.08dy	11.69cm	143.99ml/	27min =	319.978ml/hr	4.620E-03cm/s
141hr	5.88dy	3.36cm	29.40ml/	60min =	29.404ml/hr	4.245E-04cm/s
144hr	6.00dy	12.01cm	212.80ml/	61min =	209.311ml/hr	3.022E-03cm/s
164hr	6.83dy	3.25cm	24.19ml/	60min =	24.186ml/hr	3.492E-04cm/s
168hr	7.00dy	12.00cm	140.83ml/	50min =	168.991ml/hr	2.440E-03cm/s
180hr	7.50dy	3.25cm	507.42ml/	1227min =	24.813ml/hr	3.582E-04cm/s
194hr	8.08dy	12.10cm	117.76ml/	54min =	130.844ml/hr	1.889E-03cm/s
238hr	9.92dy	3.25cm	36.49ml/	272min =	8.048ml/hr	1.162E-04cm/s
262hr	10.92dy	3.25cm	28.28ml/	234min =	7.252ml/hr	1.047E-04cm/s

実験 7 栄養・曝気水使用

圧力水頭の経時変化		単位: cm H ₂ O						
深さ(cm)		0hr	22hr	70hr	94hr	118hr	142hr	168hr
0.0	:	-2.20	-2.39	-2.84	-4.17	-6.19	-8.40	-9.68
0.3	:	-2.09	-2.24	-3.19	-4.60	-6.93	-8.43	-9.77
1.0	:	-1.73	-1.87	-2.96	-4.54	-6.80	-8.01	-9.33
1.7	:	-1.52	-1.68	-2.92	-4.28	-6.72	-7.61	-8.55
3.0	:	-1.03	-1.20	-2.33	-3.59	-5.49	-6.52	-7.41
5.0	:	-0.27	-0.43	-1.00	-2.32	-3.99	-4.60	-5.45
7.0	:	0.29	0.19	-0.57	-1.23	-2.60	-3.15	-3.69
9.0	:	0.96	1.00	0.21	-0.18	-1.23	-1.48	-1.89
10.0	:	1.00	0.96	0.56	0.25	-0.56	-0.68	-1.04

全水頭の経時変化		単位: cm H ₂ O						
深さ(cm)		0hr	22hr	70hr	94hr	118hr	142hr	168hr
0.0	:	7.80	7.61	7.16	5.83	3.81	1.60	0.32
0.3	:	7.61	7.46	6.51	5.10	2.77	1.27	-0.07
1.0	:	7.27	7.13	6.04	4.46	2.20	0.99	-0.33
1.7	:	6.78	6.62	5.38	4.02	1.58	0.69	-0.25
3.0	:	5.97	5.80	4.67	3.41	1.51	0.48	-0.41
5.0	:	4.73	4.57	4.00	2.68	1.01	0.40	-0.45
7.0	:	3.29	3.19	2.43	1.77	0.40	-0.15	-0.69
9.0	:	1.96	2.00	1.21	0.82	-0.23	-0.48	-0.89
10.0	:	1.00	0.96	0.56	0.25	-0.56	-0.68	-1.04

飽和透水係数の経時変化		単位: *10 ⁻³ cm/s						
深さ(cm)		0hr	22hr	70hr	94hr	118hr	142hr	168hr
0.0-0.3	:	18.85	23.09	3.44	2.19	1.01	1.96	0.81
0.3-1.0	:	24.58	24.48	11.12	5.82	4.28	5.38	2.83
1.0-1.7	:	17.06	15.84	7.92	8.47	3.93	5.03	-9.21
1.7-3.0	:	19.16	18.30	13.66	11.35	64.71	13.33	8.55
3.0-5.0	:	19.26	18.77	22.28	14.59	13.94	53.85	52.63
5.0-7.0	:	16.58	16.73	9.51	11.70	11.42	7.83	8.77
7.0-9.0	:	17.95	19.40	12.23	11.21	11.06	13.05	10.53
9.0-10	:	12.44	11.10	11.48	9.34	10.56	10.77	7.02
0.3-9.0	:	18.38	18.39	12.25	10.82	10.10	10.71	11.17
upper f.:		4.01	3.50	1.61	0.65	0.27	0.12	0.049
lower f.:		1.42	1.34	0.99	0.85	0.75	0.52	0.30

他のデータ		単位: 圧力はすべて cm H ₂ O						
時間(hr)		0hr	22hr	70hr	94hr	118hr	142hr	168hr
(dy):		0.00	0.92	2.92	3.92	4.92	5.92	7.00
ヘッド差:		11.35	11.42	11.47	11.36	11.44	11.39	11.40
上端圧力:		-1.01	-1.07	-0.99	-0.90	-0.99	-0.94	-1.04
下端圧力:		-2.36	-2.49	-2.46	-2.26	-2.43	-2.33	-2.44
流量1/hr:		0.827	0.800	0.517	0.369	0.241	0.149	0.073
フラックス:		1.194	1.154	0.746	0.532	0.348	0.215	0.105
*10 ⁻² cm/s								
気温 C:		20.3	20.2	20.6	19.5	20.1	20.4	20.1
全体の K:		11.36	10.92	7.03	5.06	3.29	2.04	1.00
*10 ⁻³ cm/s								
DO(入):		9.15	9.18	9.10	8.90	9.05	8.55	9.01
DO(出):		8.31	9.18	8.85	8.66	8.13	6.98	7.20
DO(差):		-0.84	0.00	-0.25	-0.24	-0.92	-1.57	-1.81

実験 7 栄養・曝気水第2回

測定開始後		ヘッド差	排水速度		フラックス
0hr	0.00dy	11.35cm	165.42ml/	12min = 827.110ml/hr	1.194E-02cm/s
20hr	0.83dy	2.80cm	39.28ml/	25min = 94.272ml/hr	1.361E-03cm/s
22hr	0.92dy	11.42cm	133.28ml/	10min = 799.680ml/hr	1.155E-02cm/s
70hr	2.92dy	11.47cm	86.17ml/	10min = 517.020ml/hr	7.464E-03cm/s
91hr	3.79dy	2.88cm	43.52ml/	61min = 42.807ml/hr	6.180E-04cm/s
94hr	3.92dy	11.36cm	202.85ml/	33min = 368.818ml/hr	5.325E-03cm/s
117hr	4.88dy	2.75cm	22.97ml/	60min = 22.974ml/hr	3.317E-04cm/s
118hr	4.92dy	11.44cm	140.81ml/	35min = 241.389ml/hr	3.485E-03cm/s
139hr	5.79dy	2.80cm	18.02ml/	134min = 8.069ml/hr	1.165E-04cm/s
143hr	5.96dy	11.39cm	149.22ml/	60min = 149.220ml/hr	2.154E-03cm/s
153hr	6.38dy	2.87cm	95.97ml/	1222min = 4.712ml/hr	6.803E-05cm/s
168hr	7.00dy	11.40cm	123.96ml/	102min = 72.918ml/hr	1.053E-03cm/s
181hr	7.54dy	3.01cm	42.07ml/	982min = 2.570ml/hr	3.711E-05cm/s